

VANTAANJOEN KIPSIHANKKEEN VAIKUTUKSET KALASTOON

PRO GRADU

MATIAS HYRSKY

HELSINGIN YLIOPISTO
BIO- JA YMPÄRISTÖTIETEELLINEN TIEDEKUNTA
AKVAATTISET TIETEET
HELMIKUU 2020



Tiedekunta – Fakultet – Faculty Bio- ja ympäristötieteellinen tiedekunta		Laitos – Institution– Department	
Tekijä – Författare – Author Hyrsky, Matias			
Työn nimi – Arbetets titel – Title Vantaanjoen kipsihankkeen vaikutukset kalastoon			
Oppiaine – Läroämne – Subject Akvaattiset tieteet, Kala- ja kalastusbiologia			
Työn laji – Arbetets art – Level Pro gradu -tutkielma		Aika – Datum – Month and year Helmikuu 2020	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages 75 s. + liitteet 4 s.
Tiivistelmä – Referat – Abstract			
<p>Vantaanjoen kipsihankkeen (2018–2020) yhteydessä tutkittiin peltojen kipsikäsittelyn mahdollisia vaikutuksia kalastoon yhteensä kuudella eri tutkimusalueella Nurmijärvellä Lepsämänjoen yläosissa ja Luhtajoessa. Tutkimusalueina oli kaksi kipsikäsittelyä peltojen vaikutusalueen ulkopuolista vertailualueella ja neljä alavirran vaikutusalueella. Tavoitteena oli selvittää sähkökoekalastusten ja mädinhaudontakokeen avulla kalaston tilaa ja sen muutoksia sekä vedenlaadun soveltuvuutta taimen lisääntymiselle kipsikäsittelyjen peltojen vaikutusalueella. Näitä tuloksia verrattiin vertailualueiden tuloksiin.</p> <p>Sähkökoekalastukset toteutettiin syksyllä 2018 ennen peltojen kipsikäsittelyä ja toistettiin seuraavana syksynä. Syksyn 2019 koekalastusten tuloksia verrattiin aikaisempaan vuoteen ja vuosien välinen luonnollinen vaihtelu pyrittiin ottamaan huomioon vertailemalla vertailualueiden ja vaikutusalueiden kalaston tilan muutoksia toisiinsa. Mädinhaudontakoe toteutettiin ensimmäisten kipsinlevitysten jälkeen syksyn 2018 ja kevään 2019 välisenä aikana. Samalla seurattiin kummankin joen vedenlaatua ja pyrittiin erityisesti arvioimaan jokiveden sulfaattipitoisuuksia mädinhaudontakokeen aikana.</p> <p>Sähkökoekalastusten perusteella kipsinlevityksen ei havaittu vaikuttavan kalaston tilaan. Jälkimmäisen vuoden koekalastusten kalatiheydet nousivat niin vertailu- kuin vaikutusalueillakin. Taimen luonnollisen lisääntymisen havaittiin onnistuneen myös vaikutusalueilla. Mädinhaudontakokeessa selviytyvyys oli likimain yhtä hyvää vertailualueiden ja vaikutusalueiden välillä, mutta kuoriutumiseen asti selviytyminen oli hieman parempaa vertailualueilla. Tilastollisesti merkittävää eroa ei kuitenkaan havaittu. Ympäristömuuttujien vaikutus mädinhaudontakokeen tuloksiin oli huomattava, ja tuloksissa havaittiin suurta hajontaa niin tutkimusalueitten kuin vierekkäisten mädinhaudontakorienkin välillä. Tulosten perusteella vedenlaatu sopii taimen lisääntymiselle peltojen kipsikäsittelyn jälkeenkin.</p> <p>Kalastotutkimusten aikana mitatut ja arvioidut jokivesien sulfaattipitoisuudet jäivät selvästi aiemmin julkaistuissa tutkimuksissa määritettyjä raja-arvoja matalammiksi. Tutkimusten tulosten perusteella sulfaattipitoisuuksilla tai vähentyneellä veden sameudella ei ollut vaikutuksia jokien kalastoon.</p> <p>Vantaanjoen kipsihankkeen kalastotutkimuksissa ei havaittu peltojen kipsikäsittelystä aiheutuvia vaikutuksia kalastoon. Näiden ja aikaisempien kalastotutkimustulosten perusteella voidaan pitää hyvin todennäköisenä, että kipsinlevityksellä ei ole merkittäviä vaikutuksia jokien kalastoon tai taimen lisääntymiseen. Tulokset eivät kuitenkaan sulje pois peltojen kipsikäsittelyn mahdollisia paikallisia, hetkellisiä tai pitkäaikaisia vaikutuksia varsinkaan suuremmalla kipsikäsittävällä pelto-osuudella. Tarkempi vaikutusarvio vaatisi lisätutkimuksia.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords vantaanjoki, lepsämänjoki, luhtajoki, kalasto, kipsi, kipsihanke, sähkökoekalastus, mädinhaudontakoe, taimen, sulfaatti			
Ohjaaja tai ohjaajat – Handledare – Supervisor or supervisors FT Jyrki Lappalainen			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			



Tiedekunta – Fakultet – Faculty Faculty of Biological and Environmental Sciences		Laitos – Institution– Department	
Tekijä – Författare – Author Hyrsky, Matias			
Työn nimi – Arbetets titel – Title The River Vantaa Gypsum Project's effects on fish stocks			
Oppiaine – Läroämne – Subject Aquatic Sciences, Fish and Fishery Biology			
Työn laji – Arbetets art – Level Master's Thesis		Aika – Datum – Month and year February 2020	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages 75 pp. + appendices 4 pp.
Tiivistelmä – Referat – Abstract <p>The River Vantaa Gypsum Project's (2018–2020) effects on fish stock were studied in a total of six different research areas in the Lepsämä River and the Luhtajoki River in Nurmijärvi. Two reference areas unaffected by the gypsum-treated fields and four downstream impact areas were selected as research areas. The goal was to examine the status of the local fish stock and its possible changes in the impact areas by electrofishing and the suitability of water quality for the reproduction of brown trout by incubating eggs in situ. These results were compared with those of the reference areas.</p> <p>Electrofishing was conducted in the autumn of 2018 prior to the gypsum treatment and was repeated the following autumn. The results of 2019 and 2018 were compared with each other and the changes in the status of the fish stock in the reference and impact areas were also compared in order to take into account the natural variation between years. The brown trout eggs were incubated from autumn 2018 to spring 2019. The water quality of the rivers was monitored at the same time and particular attention was given to the sulphate concentrations in the river during the incubation.</p> <p>Based on the electrofishing results, gypsum treatment had no observable effects on the fish stocks. The results improved in both the reference and impact areas in the latter year. The natural reproduction of brown trout was also found to have been successful in the impact areas. In the incubation experiment, the survival rate was approximately the same in the reference areas and the impact areas. Survival to hatching was slightly better in the control areas. However, no statistically significant difference was observed. Environmental variables had a significant effect on the test results, and there was a large dispersion both between and within the study areas. According to the results, water quality is suitable for brown trout reproduction even after gypsum treatment.</p> <p>The measured and estimated sulphate concentrations in river waters during the studies were well below the limits established in scientific studies. The results show that the sulphate concentrations and reduced water turbidity did not affect the fish stocks.</p> <p>The results did not reveal gypsum treatments having any effects on fish stocks. According to this and previous studies, it seems very likely that gypsum treatment does not have a significant effect on fish stocks in rivers or on brown trout reproduction. However, the results do not exclude all possible local effects, temporary or long-term, that gypsum treatments might have, especially when the treated areas are larger. A more detailed impact assessment would require further research.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords river vantaa, fish, gypsum, gypsum treatment, brown trout, electrofishing, sulphate, hatching			
Ohjaaja tai ohjaajat – Handledare – Supervisor or supervisors PhD Jyrki Lappalainen			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			

SISÄLLYSLUETTELO

1. Johdanto	1
1.1. Tutkimuksen tausta	1
1.2. Vantaanjoen kipsihanke	2
1.3. Vantaanjoen vesistöalue ja kalasto.....	3
1.4. Kipsin käyttö vesiensuojelukeinona ja sen vesistövaikutukset.....	5
1.5. Sulfaatin vaikutukset kaloihin.....	9
2. Aineisto ja menetelmät	12
2.1. Tutkimusalueet	12
2.1.1. Luhtajoki.....	14
2.1.2. Lepsämänjoki	16
2.2. Sähkökoekalastukset	19
2.3. Mädinhaudontakoe	23
2.4. Vedenlaadun seuranta	31
3. Tulokset	35
3.1. Sähkökoekalastukset	35
3.2. Mädinhaudontakoe	40
3.3. Vedenlaatu kalastotutkimusten aikana	48
4. Tulosten tarkastelu	53
4.1. Sähkökoekalastukset	53
4.2. Mädinhaudontakoe	57
4.3. Vedenlaatu ja muut tekijät	64
5. Johtopäätökset.....	66
6. Kiitokset.....	67
7. Kirjallisuus.....	68
Liitteet.....	76
Liite 1. Sähkökoekalastuksien koealakohtaiset saaliit (yksilömäärä)	76
Liite 2. Sähkökoekalastuksien koealakohtaiset saaliit (biomassa [g])	77
Liite 3. Jokien kalaindeksin vertailuarvot ja luokkarajat.	78
Liite 4. Luhtajoen vedenlaadunseurannan tuloksia	78
Liite 5. Mädinhaudontakokeen tulokset.....	79

1. Johdanto

1.1. Tutkimuksen tausta

Vantaanjoen vesistöalue on Suomen tiheimmin asuttua aluetta, mikä näkyy myös Itämeren kuormituksessa. Vantaanjoen kuljettamana mereen virtaa vuosittain kymmeniä tonneja fosforia, useita satoja tonneja typpeä ja miljoonia kiloja kiintoainesta (Vahtera & Männynsalo 2019). Peltoviljely on ravinnekuormittajista suurin (Vahtera & Männynsalo 2019). Tämän osuuden pienentämiseksi on tutkittu monenlaisia vesiensuojelukeinoja, joista peltojen kipsikäsittely on yksi lupaavimmista (Iho & Laukkanen 2012).

Peltojen kipsikäsittelyllä voidaan vähentää pelloilta vesiin kulkeutuvaa fosforimäärää jopa puolella ja estää samalla eroosiota eli vähentää myös kulkeutuvan kiintoaineksen määrää (Ollikainen ym. 2018). Tämän pitäisi näkyä vedenlaadussa positiivisesti pienempinä fosforipitoisuuksina ja kiintoainesmäärinä sekä samalla sameuden vähentymisenä. Pelloille levitettävällä kipsillä voidaan mahdollisesti parantaa myös jokien virkistysarvoa (Iho & Laukkanen 2012). Vantaanjoen kipsihankkeessa valuma-alueella levitetäänkin kipsiä 3500 hehtaarille peltoja vuosina 2018–2020.

Peltojen kipsikäsittely lisää veden sulfaattipitoisuutta, joka on liian korkeaksi noustessaan kaloille ja muillekin vesieliöille myrkyllistä (BC MoE 2013). Suuret sulfaattipitoisuudet jokivedessä voivat aiheuttaa haittaa varsinkin lohikaloille ja niiden lisääntymiselle. Vantaanjoen alueella erityisen haavoittuvaisena voidaan pitää esimerkiksi taimenen (*Salmo trutta* L.) merivaelteista kantaa, joka on luokiteltu äärimmäisen uhanalaiseksi (Hyvärinen ym. 2019) ja suojeltu. Tämän taimenkannan ja muidenkin kalakantojen turvaamiseksi on tärkeää tutkia kipsinlevityksen vaikutukset kalastoon ennen kuin kipsinlevitystä aletaan käyttämään vesiensuojelukeinona laajemmassa mittakaavassa.

Kipsinlevityksen vaikutuksia vedenlaatuun ja vesieliöille on tutkittu aiempien kipsinlevitystä edistävien hankkeiden, kuten TraP-hankkeen (SYKE 2019b) ja SAVE-hankkeen (HY & SYKE 2018b) yhteydessä. Tutkimuksissa kipsinlevityksestä ei ole havaittu aiheutuvan haittoja eri vesieliöille. Kipsinlevityksen vaikutuksia kalastoon ei kuitenkaan ole pystytty luotettavasti selvittämään (Arola 2019).

Tässä tutkielmassa tarkastellaan Vantaanjoen kipsihankkeen (2018–2020) vaikutuksia alueen kalastoon, eli sen tilaan ja koostumukseen, sekä erityisesti sen vaikutuksia taimeniin ja niiden lisääntymisedellytyksiin. Tutkimus toteutettiin Nurmijärvellä valituilla tutkimusalueilla Luhtajoella (Luhtajoki/Koiransuolenoja) ja Lepsämänjoen yläosissa (Myllyoja/Tuhkurinoja) sekä sähkökoekalastuksin että mädinhaudontakokeen avulla. Tutkielma on toteutettu yhteistyössä Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry:n kanssa.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, minkälaisia vaikutuksia kipsinlevityksellä on jokialueen kalastoon. Jos negatiivisia vaikutuksia ei ole, peltojen kipsikäsittelyä voidaan kalastovaikutusten osalta suositella käytettäväksi vesiensuojelukeinona. Tulevien kipsihankkeiden toteuttamisen ehtona voidaan pitää sitä, ettei hankkeessa havaita kielteisiä vaikutuksia kalastoon tai taimenen lisääntymiseen, kuten Vantaanjoen kipsihankkeen hankesuunnitelmassakin oli päätetty ennen edeltävän hankkeen tuloksia.

1.2. Vantaanjoen kipsihanke

Vantaanjoen kipsihanke on kolmivuotinen hallituksen kärkihanke peltojen fosforikuormituksen vähentämiseksi ja vesialueiden ekologisen tilan parantamiseksi Vantaanjoen valuma-alueella vuosina 2018–2020. Sen tavoitteena on saavuttaa vesien ja Itämeren hyvä tila leikkaamalla Vantaanjokeen, ja sitä kautta Vanhankaupunginlahteen ja Itämereen, päätyvää fosforikuormaa noin kahdella tonnilla sekä kiintoaineskuormaa noin tuhannella tonnilla vuosittain. Kuormitusleikkaus saavutetaan arvioiden mukaan noin 3 500 peltopinta-alahehtaarin kipsikäsittelyillä, jotka toteutetaan kahden–kolmen peräkkäisen syksyn aikana, sääolosuhteista riippuen. Kipsikäsittelyn vaikutuksen arvioidaan kestävän noin viisi vuotta (Ollikainen ym. 2018), jolloin poistettu fosforimäärä olisi noin 10 000 kiloa ja kiintoainevähentymä vastaavasti jopa viisi miljoonaa kiloa (JNS ym. 2019a).

Kipsihankkeella on myös monia muita tavoitteita kuormituksen vähentämisen lisäksi. Hankkeen tavoitteena on muun muassa lisätä vesistöjen virkistyskäyttöarvoa lähes miljoonan virkistyskäyttäjän alueella, kerätä lisää tietoa kipsikäsittelyn vaikutuksista vedenlaatuun ja kalastoon sekä lisätä eri tahojen tietoisuutta kipsikäsittelystä

vesiensuojelutoimena ja kiinnostusta sen kokeilemiseen. Tarkoituksena on myös mahdollistaa vastaavien hankkeiden toteuttaminen jatkossa parhaalla mahdollisella tavalla sekä saada peltojen kipsikäsittely vesiensuojelutoimena julkisen rahoituksen piiriin (JNS ym. 2019a).

Vantaanjoen kipsihankkeen vetäjänä toimii John Nurmisen Säätiö (JNS) yhteistyössä Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry:n (VHVSY), Helsingin yliopiston (HY) Maatalous-metsätieteellisen tiedekunnan Taloustieteen osaston ja Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) kanssa. Hankkeen rahoitus on peräisin osallistuvilta organisaatioilta, ympäristöministeriöltä sekä yksityisiltä lahjoittajilta (JNS ym. 2019a). Osallisista VHVSY toteuttaa hankkeen ympäristöseurannat, eli se tarkkailee kipsinlevityksen vaikutuksia Vantaanjoen veden laatuun sekä Vantaanjoen kalastoon.

Vuoden 2019 loppuun mennessä hankkeen puitteissa on levitetty kipsiä yhteensä hieman alle 3 200 hehtaarille eri puolille Vantaanjoen valuma-aluetta. Syksyllä 2018 tästä määrästä levitettiin noin 1 070 hehtaarin verran ja vastaavasti syksyllä 2019 levitetty peltopinta-ala oli noin 2 110 hehtaaria. Kipsiä levitetään vielä syksyllä 2020, sillä syksyn 2019 sateisesta säästä johtuneet huonontuneet kuljetus- ja levitysolosuhteet estivät osan suunnitelluista ja sovituista kipsinlevityksistä (JNS ym. 2019b). Hanke kytkeytyy aikaisempiin kipsihankkeisiin, kuten TraP- ja SAVE-hankkeisiin, joissa saatiin hyviä tuloksia kipsin peltolevityksen tehokkuudesta ja edullisuudesta pelloilta tulevan fosforin ja kiintoaineksen valunnan leikkaamisessa (HY & SYKE 2018b).

1.3. Vantaanjoen vesistöalue ja kalasto

Vantaanjoen vesistöalue (aluetunnus 21) sijoittuu 1 686 neliökilometrin pinta-alallaan neljäntoista kunnan alueelle (Uudenmaan liitto 1997; Ekholm 1993). Yli miljoonalla asukkaallaan se on Suomen tiheimmin asuttu vesistöalue. Pääuoma Vantaanjoen pituus on noin sata kilometriä ja pudotuskorkeus latvalta Vanhankaupunginlahteen 111 metriä (Mikkola & Saura 1994). Viipymä tällä välillä on 11 vuorokautta (Kauppila 1983). Vesistöalueen suurimmat sivu-uomat ovat Keravanjoki (65 km), Luhtajoki (46 km), Palojoki (45 km), Lepsämänjoki (37 km) ja Tuusulanjoki (15 km) (Uudenmaan liitto 1997).

Valuma-alueesta noin 24 prosenttia on peltuja ja alle kolme prosenttia järviä. Vesistöalueen 160 järveä ja lampea ovat pääasiassa pieniä ja matalia ja sijaitsevat vesistön latva-alueilla, minkä takia jokien virtaamavaihtelut ovat voimakkaita (Uudenmaan liitto 1997; Saura ym. 2003). Keskivirtaama on noin 17 kuutiota sekunnissa vaihteluvälin ollessa jopa 1–300 m³ s⁻¹ (Uudenmaan liitto 1997; Saura ym. 2003). Valuma-alue on suurelta osalta savimaata (hiesua ja savea on 39 prosenttia pinta-alasta), minkä takia jokivedet ovat luontaisesti saven samentamia, varsinkin tulva-aikoina (Uudenmaan liitto 1997).

Vantaanjoen valuma-alueelta on tavattu yhteensä 37 eri kalalajia kaksi nahkiaislajia mukaan luettuna, ja lisäksi sekä täplä- (*Pacifastacus leniusculus* Dana) että jokirapua (*Astacus astacus* L.) (Mikkola & Saura 1994; Suikki & Toivonen 2008; Ympäristöhallinto 2019b). Jokiuomissa, joita on yli 300 kilometriä (Kauppila 1983), esiintyy 24 kalalajia. Kalasto on monipuolinen, joskin moni lajeista on peräisin istutuksista (Uudenmaan liitto 1997). Viime vuosina Vantaanjoen vesistöön on istutettu muun muassa kirjolohta (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum), siikaa (*Coregonus lavaretus* L.), ankeriasta (*Anguilla anguilla* L.), karppia (*Cyprinus carpio* L.) ja harjusta (*Thymallus thymallus* L.) (Haikonen & Kervinen 2019). Pääasiassa istutuksia tehdään vesistöalueen virkistyskalastajien suuren kalastuspaineen takia.

Vantaanjoen kalakantoihin on vahvasti vaikuttanut joen vedenlaatu, maanmuokkaukset ja vaellusesteet sekä vedenkorkeuden vaihtelut. Varsinkin virta-alueiden ruoppaukset, perkaukset ja oikomisot heikentyneen vedenlaadun ja vaellusesteiden kanssa hävittivät merivaelluksen taimenkannan hetkellisesti Vantaanjoesta (Uudenmaan liitto 1997; Mikkola & Saura 1994). Sen jälkeisillä tehokkailla vesiensuojelutoimenpiteillä, kunnostustoimilla ja istutuksilla kalasto sekä kalastus ovat elpyneet (Saura ym. 2002). Nykyisin taimen lisääntyy luontaisesti suuressa osassa Vantaanjokea ja sen sivu-uomissa, ja taimenistutukset on pääasiassa lopetettu (Tolvanen & Hyrsky 2019).

1.4. Kipsin käyttö vesiensuojelukeinona ja sen vesistövaikutukset

Kipsi on kalsiumsulfaattia (kalsiumsulfaattidihydraatti $[\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}]$), jota Suomessa syntyy pääasiassa Yara Suomi Oy:n Siilinjärven kaivoksella fosforihappotutannon sivutuotteena, kun fosforia erotetaan apatiitista rikkihapolla (Yli-Renko & Rasa 2011). Tällaista teollisuuden sivutuotantokipsiä syntyy vuosittain 1,3 miljoonaa tonnia, ja se sisältää 23 % kalsiumia, 18 % rikkiä ja 0,2 % fosforia (HY & SYKE 2018b). Siilinjärven kipsi ei sisällä haitallisia määriä raskasmetalleja tai radioaktiivisuutta, mikä mahdollistaa sen käytön maanparannusaineena (Pietola & Kulokoski 2009; Ollikainen ym. 2018). Kipsiä voidaan myös louhia maaperästä. Louhittu kipsi ei sisällä niin paljon kalsiumsulfaattia kuin teollisissa prosesseissa syntyvä kipsi, eikä ollenkaan teolliselle kipsille tyypillistä fosforia (Mattila ym. 2019; Ollikainen ym. 2018). Erilaisen koostumuksen takia louhittu kipsi on hitaammin liukenevaa (Mattila ym. 2019) ja sitä voidaan käyttää maanparannusaineena myös luomuviljelyssä (asetus (EY) N:o 889/2008).



Kuva 1. Vesiensuojelullisessa peltojen kipsikäsittelyssä levitetään maanparannuskipsiä neljä tonnia hehtaaria kohden. Tällä saavutetaan nykytiedon mukaan viiden vuoden vaikutus vedenlaatuun.

Kipsiä on käytetty maanparannusaineena jo useamman vuosisadan ajan ja sitä on tuotettu kaupallisesti ainakin 1700-luvulta alkaen (Mattila ym. 2019). Kipsi soveltuu erityisesti savimaiden pelloille, joihin levitettynä se parantaa maan mururakennetta ja sitoo fosforia

maahan (Yli-Renko & Rasa 2011). Fosforin huuhtoutumisriski laskee liukoisuuden vähentyessä, mutta fosfori säilyy kuitenkin kasveille käyttökelpoisena, sillä sidos on löyhä (Pietola & Kulokoski 2009). Lisäksi maan aggregaatio eli maapartikkeleiden ryhmittäminen ja kasautuminen yhteen sekä vedenläpäisykyky paranevat (Mattila ym. 2019).

Kipsikäsittely ei muuta maan pH-arvoa eikä heikennä sadon määrää tai laatua (Ollikainen ym. 2018). Kipsi nostaa pintamaan rikki- ja kalsiumpitoisuutta eli lisää tärkeiden kasviravinteiden määrää, mikä voi fosforin paremman biosaatavuuden kanssa näkyä parempina satoina. Kipsiä käytetäänkin myös lannoitteena maanparannuksen lisäksi. Kipsilannoituksen on todettu poistavan haitallista alumiinia, mutta myös lisäävän magnesiumin, kaliumin ja boorin puutoksen riskiä (Mattila ym. 2019) ja vähentävän kasvien seleenin ottoa (Yli-Renko & Rasa 2011). Kipsi vähentää myös orgaanisen hiilen huuhtoumaa (Uusitalo ym. 2012).

Peltojen kipsikäsittelyllä voidaan vähentää fosforin huuhtoutumista pelloilta. Fosforin määrä vesistöissä säätelee pitkälti perustuotantoa sen ollessa yleisesti rajoittava tekijä. Fosforin huuhtoutuminen aiheuttaakin rehevöitymistä, johon vaikuttaa fosforin biosaatavuus. Liukoinen fosfori (DRP) on kasveille ja leville sellaisenaan käyttökelpoista toisin kuin partikkelimainen fosfori (PP), jonka biosaatavuuteen vaikuttavat esimerkiksi vesistön ominaisuudet ja ympäristötekijät. Kipsikäsittely vaikuttaa sekä partikkelimaiseen että liukoiseen fosforiin ja sitä voidaan käyttää hidastamaan fosforihäviöitä maatalousalueilla, joilla fosforikato on suuri uhka huuhtouman takia (Uusitalo ym. 2012).

Kipsillä voidaan vähentää myös peltojen eroosiota eli maaperän hiukkasten kulkeutumista ja näin ollen vähentää joen sameutta. Kiintoaines muodostaa suurimman maalta veteen kulkeutuvan ainevirran, joka voi olla savipelloilta jopa 6 000 kg ha⁻¹ poikkeuksellisen sateisena vuonna, mutta on tyypillisesti noin 100–1 200 kg ha⁻¹ vuosittain (Paasonen-Kivekäs ym. 2009). Huuhtoutuvan kiintoaineen mukana kulkeutuu runsaasti ravinteita ja esimerkiksi tuholaistorjunta-aineita (pestisidejä), jotka kulkeutuvat vesipatsaassa ja palaavat siihen myös sedimentistä muun muassa resuspension avulla. Kiintoaines samentaa vettä ja aiheuttaa liettymistä, mikä heikentää valon tunkeutumista ja madaltaa eufottista kerrosta. Kiintoaineen määrä voikin vaikuttaa vahvasti perustuotantoon, vaikeuttaa näköön perustuvaa saalistusta ja ravinnonhakua sekä vähentää vesistön virkistysarvoa ja jopa jokien vesitilavuutta kertymisen takia. Lisäksi kiintoaines vaikuttaa pohjan kemiallisiin sekä

mikrobiologisiin prosesseihin ja voi tuhota pohjan habitaatteja (Jonsson & Jonsson 2011). Esimerkiksi lohikalojen kutusoraikkojen liettyminen heikentää mädin selviytymistä suurilla kiintoainesvirroilla.

Suomessa on aikaisemmin tutkittu kipsikäsittelyn vaikutuksia esimerkiksi usean tahon (Yara, SYKE, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, TTS Tutkimus, Luoden Consulting Oy, VHVSY ja Uudenmaan ympäristökeskus) yhteisessä TraP-kipsihankkeessa, jossa tutkittiin kipsipohjaisia tuotteita maatilojen fosforikuormituksen vähentämiseen vuosina 2007–2014 (SYKE 2019b). Helsingin yliopiston ja Suomen ympäristökeskuksen yhteisessä SAVE-hankkeessa (Saaristomeren vedenlaadun parantaminen peltojen kipsikäsittelyllä) selvitettiin kipsin soveltuvuutta parantamaan Itämeren ja erityisesti Saaristomeren tilaa vuosina 2016–2018 (HY & SYKE 2018b). SAVE-hankkeen vedenlaadun seurannat jatkuvat SAVE2-hankkeessa, jossa arvioidaan kipsin vaikutusten kestoa Savijoen tutkimusalueilla (HY & SYKE 2018b). Jatkossa peltojen kipsikäsittelyä edistetään muun muassa Varsinais-Suomen ELY-keskuksen KIPSI-hankkeessa vuodesta 2019 eteenpäin osana ympäristöministeriön Vesiensuojelun tehostamisohjelmaa (Ympäristöhallinto 2019a).

Peltojen kipsikäsittelyn vaikutuksia vedenlaatuun on tutkittu useissa laboratoriokokeissa ja kenttätutkimuksissa. Uusitalon ym. (2012) tutkimuksessa havaittiin kipsinlevityksen vähentävän kolmen vuoden testijaksolla testatuilla peltolohkoilla sameutta 45 prosenttia ja liukoista orgaanista hiiltä (DOC) 35 prosenttia kontrolleihin verrattuna. Partikkelimaista fosforia kipsikäsittely vähensi 70 prosenttia ja liukoista fosforia 35 prosenttia. Ekholmin ym. (2012) tutkimuksen mukaan kipsikäsittely vähensi partikkelimaisen fosforin (PP) huuhtoutumista 64 prosenttia ja liukoisen fosforin (DRP) huuhtoutumista noin kolmasosan. Käsittelyllä ei ollut vaikutusta fosforin, kaliumin, magnesiumin eikä kalsiumin pitoisuuksiin maaperässä, mutta se lisäsi ionivoimakkuutta ja sulfaattipitoisuuksia. Jaakkolan ym. (2012) mallin mukaan kipsikäsittely vähensi tutkitusti pellon fosforihäviötä 44 prosenttia. SAVE-hankkeessa arvioitiin ensimmäisten vajaan kahden vuoden perusteella kiintoaineiden ja partikkelimaisen fosforin huuhtouman vähentyneen noin puolella kipsinlevityksen jälkeen. Kipsinlevityksen vaikutuksia liuenneeseen fosforiin ei arvioitu suuren vaihtelun ja laboratoriomääritysten laatuongelmien takia (HY & SYKE 2018b).

Kipsin levitys pelloille lisää maaperään kalsiumia, joka syrjäyttää kaliumia ja magnesiumia maahiukkasten pinnoilta. Tämä lisää näiden kationeiden valuntaa ja muuttaa eri kationeiden välisiä suhteita. SAVE-hankkeessa kuitenkin havaittiin, että vain pieni osa kalsiumista jää maahiukkasten pinnalle sen huuhtoutuessa pitkälti samaan aikaan sulfaatin kanssa (HY & SYKE 2018b). Muiden kationeiden huuhtouma lisääntyi jonkin verran, mikä vaikuttaa osaltaan joen ympäristötekijöihin. Kalsium on muissakin tutkimuksissa huuhtoutunut suurelta osin, kuten myös magnesium (Mattila ym. 2019).

Kipsikäsitteily on tutkituimpia ja halvimpia vesiensuojelukeinoja. Käsittelyssä pellolle levitetään syksyllä neljä tonnia maanparannuskipsiä hehtaaria kohti esimerkiksi kostean kalkin tai kuivalannan levitysvaunulla sadonkorjuun jälkeen mieluiten kuivaan aikaan (kuva 1) (Ollikainen ym. 2018). Suositeltavaa on levittää kipsi ennen pellon muokkausta. Paras vesiensuojelullinen tulos saavutetaan pellon kevytmuokkauksella, mutta kipsikäsitteily sopii myös kynnölle ja suorakynnölle (Ollikainen ym. 2018). Teknisesti kipsin levitys on helppoa ja siihen voidaan käyttää samoja koneita kuin muihin maataloustöihin. Peltöjen kipsikäsitteilyn vaikutus kestää arviolta kolmesta viiteen vuoteen (Ekholm ym. 2012; Ollikainen ym. 2018), minkä jälkeen se voidaan toistaa. Kipsikäsitteilyn teho on voimakkaimmillaan heti levityksen jälkeen ja heikkenee toisena vuotena (Uusitalo ym. 2012; Yli-Renko & Rasa 2011).

Peltöjen kipsikäsitteilyn kustannus suhteutettuna fosforikuormituksen vähentymään on 60–70 euroa fosforikiloa kohti, mikä tekee siitä nykyisin käytössä olevista menetelmistä edullisimman (HY & SYKE 2018a). Parhaiten kipsikäsitteily sopii vähentämään korkeita fosforipitoisuuksia, ja sen kannattavuus riippuu usein monesta tekijästä, kuten esimerkiksi alueen eroosioherkkyydestä ja jyrkkyydestä (Iho & Laukkanen 2012).

Vesiensuojelukeinona peltöjen kipsikäsitteily ei sovi kaikkialle. Sitä ei suositella käytettäväksi järvien valuma-alueilla, joissa huuhtoutuva sulfaatti voi lisätä järvien sisäistä kuormitusta ja näin ollen rehevöitymistä vapauttamalla pohjan sedimenttien fosforia. Happamilla sulfaattimailla kipsin vaikutus fosforihuuhtoumaan on niin vähäinen, ettei sitä suositella käytettäväksi. Lisäksi happamuusongelmista kärsivät pellot, Natura-alueet, pohjavesialueet ja pellot, joilla on kaliumin tai magnesiumin puutetta tai paljon kalsiumia, eivät ole soveltuvia tai suositeltuja (HY & SYKE 2018a).

1.5. Sulfaatin vaikutukset kaloihin

Kipsinlevityksen seurauksena veden sulfaattipitoisuus lisääntyy. Sulfaatti on suurilla pitoisuuksilla haitallinen yhdiste kaloille ja heikentää alkioiden kehitystä sekä hidastaa kalojen kasvua. Suurissa sulfaattipitoisuuksissa kalojen biomassan lisääntyminen on hitaampaa kuin alemmissa pitoisuuksissa (Wang ym. 2016). Sulfaatin toksisuus riippuu pitoisuuden lisäksi monista muistakin tekijöistä, kuten veden kovuudesta eli kalsium- ja magnesiumsuolojen määrästä, veden lämpötilasta, kalojen iästä tai alkioiden kehitysvaiheesta, vedessä olevista muista kationeista sekä ajasta (Mount ym. 1997; Elphick ym. 2011; Wang ym. 2016; BC MoE 2013). Tutkimuksissa on myös huomattu, että useamman kationin esiintyminen vedessä vähentää yksittäisten kationien myrkyllisyyttä (Mount ym. 1997; Wang ym. 2016).

Sulfaatin kanssa esiintyvistä kationeista natrium- ja kalsiumionit ovat vähiten toksisia, ja niitä ei pidetäkään sinällään kaloille myrkyllisinä, vaan pitemminkin vain vedenlaatuun vaikuttavina ympäristötekijöinä (Mount ym. 1997). Pelkät sulfaatti-ionit ovat eliöille toksisia tietyinä suurena pitoisuutena, mutta yleensä jo tätä pitoisuutta pienemmät kationipitoisuudet voivat aiheuttaa myrkytyksen ennen sulfaatin vaikutuksia. Esimerkiksi kalium- ja magnesiumionit sekä vetykarbonaatti- ja kloridi-ionit ovat myrkyllisempiä matalammilla pitoisuuksilla kuin pelkät sulfaatti-ionit (Mount ym. 1997). Tämän takia sulfaattien toksisuustutkimuksissa käytetään pääsääntöisesti natriumsulfaattia, jolloin voidaan arvioida raja-arvoja pelkälle sulfaattipitoisuudelle.

Kipsinlevityksessä pelloille levitetään kalsiumsulfaattidihydraattia, jolloin veteen huuhtoutuu ajan mittaan runsaasti sulfaattia. Lisäksi kipsin kalsium syrjäyttää maan vaihtopinnoilta muita kationeja, jotka huuhtoutuvat valunnan mukana jokeen. Kaikki kalsium ei jää maaperään, vaan jopa suurin osa siitä saattaa huuhtoutua sateiden mukana (Mattila ym. 2019). Kipsinlevityksen myötä joen sulfaattipitoisuus kasvaa, ja samalla myös eri kationien määrät ja suhteet muuttuvat. Huuhtouman myrkyllisyyttä kaloille ei voi saada selville vain sulfaattipitoisuutta mittaamalla tai sähkönjohtavuuden perusteella arvioimalla, sillä eri kalalajeille määritetyt raja-arvot riippuvat ympäristötekijöistä. On kuitenkin tärkeää arvioida joen sulfaattipitoisuuksia, jotta tiedetään valunnan aikaan pitoisuuspiikkien suuruus sekä niiden kesto.

Eri kalalajeille on useassa tutkimuksessa määritetty raja-arvoja sulfaattipitoisuuksien osalta. Esimerkiksi kirjolohelle on arvioitu NOEC-arvoksi 205 mg l⁻¹ (alkionkehitys ja kuoriutuminen 31 vrk) ja hopealohelle (*Oncorhynchus kisutch* Walbaum) vastaavasti 825 mg l⁻¹ (alkionkehitys 10 vrk), eli kyseisissä sulfaattipitoisuuksissa ei ole ollut nähtävissä vaikutusta (Elphick ym. 2011). Näitä suuremmatkin LOEC-arvot eli alimmat pitoisuudet, joissa havaittiin sulfaatin haitallinen vaikutus alkioilla, olivat kirjolohella 340 mg l⁻¹ (31 vrk) ja hopealohella jopa 1450 mg l⁻¹ (10 vrk) (Elphick ym. 2011).

Eri ekotoksikologisissa testeissä on ollut paljon vaihtelua ja esimerkiksi paksupäämudulle (*Pimephales promelas* Rafinesque) on saatu sulfaatin osalta erilaisia tuloksia ekotoksikologisissa tutkimuksissa (Elphick ym. 2011; Wang ym. 2016). Pienimmät vaikuttavat sulfaattipitoisuudet ovat olleet näissä tutkimuksissa mudun osalta LC20-arvot (34 vrk) pitoisuuksilla 305 ja 477 mg l⁻¹ kahdella rinnakkaisella asetelmalla, eli keskimäärin 381 mg l⁻¹ sulfaattipitoisuudella paksupäämuduista kuolee 20 prosenttia (Wang ym. 2016). Tutkimuksen mukaan näissä sulfaattipitoisuuksissa nuorten kalojen kasvu oli myös huomattavasti hitaampaa kuin kontrolliryhmässä. Koeasetelman kalanpoikasilla oli jopa 20 prosenttia pienemmät biomassat kuin kontrolliryhmän kaloilla. Suuri osa eri tutkimusten antamista raja-arvoista johtuu erilaisista mittausolosuhteista, kuten veden kovuudesta sekä kokeen mittauksen kestosta.

Tutkimusten perusteella kalat kestävät hetkellisesti suuriakin sulfaattipitoisuuksia kohtuullisen hyvin, eli akuutin myrkytyksen raja-arvot ovat suuria. Esimerkiksi paksupäämudulla tehdyissä testeissä vastakuoriutuneille poikasille LC50-arvo neljän vuorokauden altistusajalla oli 4 833 mg l⁻¹, mikä oli yli kaksitoista kertaa suurempi arvo kuin kroonisen 34 vuorokauden LC20-arvo (Wang ym. 2016). Lisäksi vanhemmat, noin 30 vuorokauden ikäiset poikaset kestivät vieläkin paremmin hetkittäistä sulfaattipitoisuutta (10 869 mg l⁻¹, LC50, 4 vrk). Vanhemmat kalat kestävät siis korkeita sulfaattipitoisuuksia paremmin kuin nuoremmat kalat. Lisäksi kalat kestävät tutkimuksen mukaan muihin vesieliöihin verrattuna paremmin lyhyitä korkeita sulfaattipitoisuuksia, mutta ovat herkempiä krooniselle altistukselle (Wang ym. 2016).

Jokiveden kovuus vaikuttaa sulfaatin myrkyllisyyteen. Mitä kovempaa vesi on eli mitä enemmän siinä on kalsium- ja magnesiumsuoloja, sitä paremmin kalat kestävät sulfaattia. Vastaavasti veden ollessa pehmeää pienemmät sulfaattipitoisuudet ovat kaloille vaarallisia.

Suomen jokivedet ovat yleisesti pehmeitä, joten pienemmätkin sulfaattipäästöt ovat potentiaalisesti haitallisia kaloille. Vantaanjoen veden kovuus on aikaisempien mittausten mukaan noin $1,19 \text{ mmol l}^{-1}$ (67 mg l^{-1}) (Pönkä ym. 2011), eli vesi on eri määritelmien mukaan pehmeästä kohtalaisen pehmeään (soft to moderately soft [$31\text{--}75 \text{ mg l}^{-1}$]) tai keskikovaa ($1,10\text{--}1,60 \text{ mmol l}^{-1}$). Pohjoisamerikkalaisen ympäristöohjeistuksen mukaan tällaisessa veden kovuudessa sulfaatin raja-arvona pidetään 218 mg l^{-1} kolmenkymmenen päivän keskiarvona laskettuna (BC MoE 2013). Tämä perustuu tutkimuksiin sulfaattipitoisuuksien vaikutuksista (LC20) sulfaatille herkkään kirjoloheen ja sen kehittyviin alkioihin. Sulfaatin laatuluokitus talousvedessä on Suomessa 250 mg l^{-1} (STM asetus 401/2001).

SAVE-hankkeessa (HY & SYKE 2018b) joen sulfaattipitoisuus nousi kipsinlevityksen seurauksena noin 21 mg l^{-1} . Keskipitoisuus oli 32 mg l^{-1} ja suurin mitattu pitoisuus 320 mg l^{-1} . Suurin pitoisuus havaittiin kipsinlevityksen jälkeen ensimmäisillä sateilla, joiden jälkeen joen sulfaattipitoisuus ei enää kertaakaan ylittänyt 100 mg l^{-1} pitoisuutta. Sulfaattipitoisuuksien raja-arvojen mukaan SAVE-hankkeen suurimmilla sulfaattipitoisuuksilla voi olla heikentävä vaikutus alkioden kehitykseen peltojen kipsikäsitteilyn seurauksena. Mahdollisen heikentävän vaikutuksen epätodennäköisyyttä voidaan kuitenkin perustella sulfaattipiikin hetkellisellä kestolla ja sen osumisella alkusyöksyyn, jolloin kalojen alkionkehitys ei ole herkimmissä vaiheissaan. Hankkeen mädinhaudontakoejakson suurin sulfaattipitoisuus oli kuitenkin vain $76,1 \text{ mg l}^{-1}$ (Arola 2019).

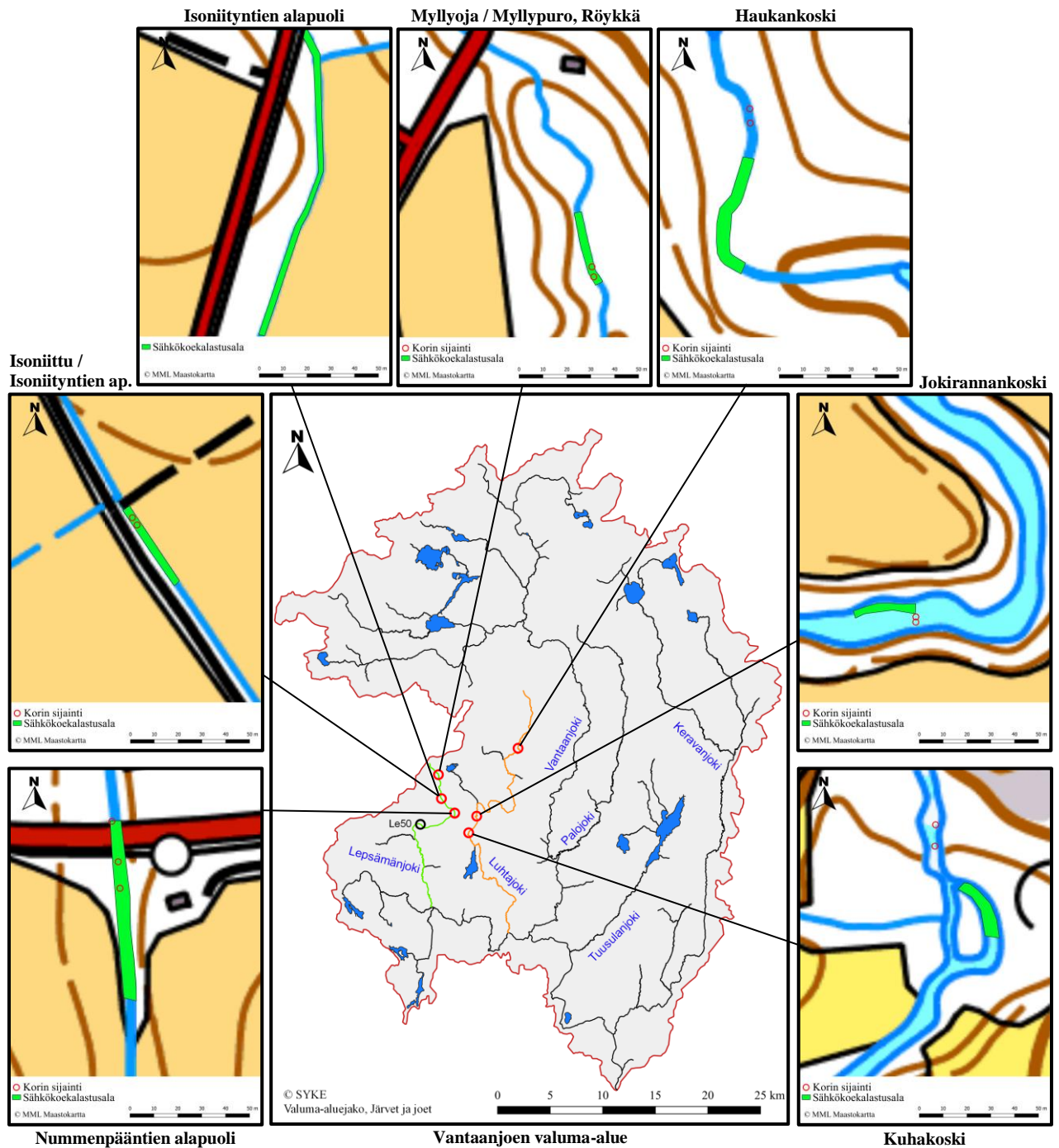
2. Aineisto ja menetelmät

2.1. Tutkimusalueet

Kaikki Vantaanjoen kipsihankkeen kalastotutkimuksiin valitut tutkimusalueet sijaitsevat Nurmijärvellä. Molemmista joista valittiin yksi kipsattavista pelloista ylävirtaan sijoittuva vertailualue ja kaksi pelloista alavirtaan sijoittuvaa vaikutusaluetta. Tutkimusalueet pyrittiin valitsemaan sopiviksi tiedetyistä virta-alueista parhaat ottaen huomioon vuonna 2018 kipsikäsiteltävät peltolohkot. Vertailualueiksi valikoitui karttatarkastelun sekä kahden päivän maastotiedustelujen jälkeen Myllyoja Lepsämänjoesta ja Haukankoski Luhtajoesta. Vastaavasti vaikutusalueiksi valittiin Lepsämänjoesta Isoniityntien ja Nummenpääntien alapuoliset koskialueet sekä Luhtajoesta Jokirannankoski ja Kuhakoski (kuva 2).

Luhtajoen Kuhakoski ja Jokirannankoski luokitellaan pintavesityypiltään keskikokoisiin savimaiden jokiin niiden suuremman valuma-alueen koon takia, kun taas neljä muuta tutkimusaluetta kuuluvat luokitukseltaan pieniin savimaiden jokiin (SYKE 2019a). Vesienhoidon toisen suunnittelukauden aineiston perusteella Lepsämänjoen yläosan sekä Luhtajoen ekologinen tila on tyydyttävä ja kemiallinen tila hyvä (SYKE 2019a). Biologinen luokittelu Lepsämänjoen yläosassa on hyvä ja kalasto erinomainen, kun taas Luhtajoella luokka on tyydyttävä (SYKE 2019a). Kalaston tilaa Luhtajoelta ei ole määritetty.

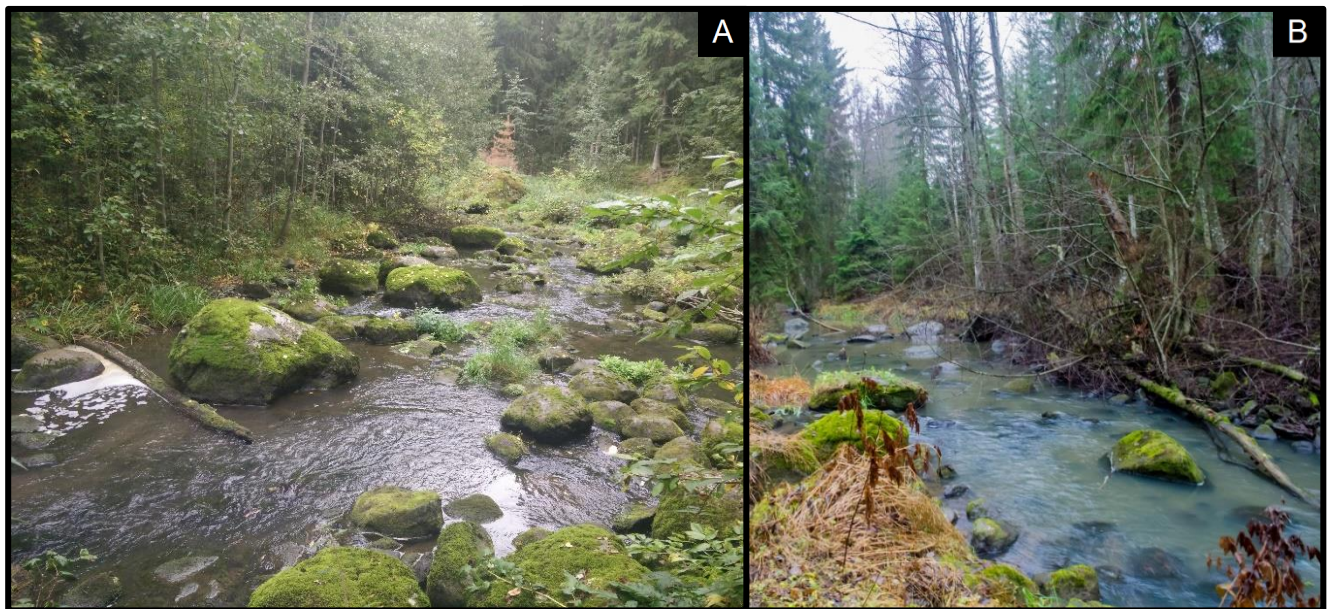
Luhtajoen valuma-alue on 154 ja Lepsämänjoen 214 neliökilometriä järvisyyksien ollessa vastaavasti 1,4 ja 3,3 prosenttia valuma-alueesta (Ekholm 1993). Lepsämänjoen valuma-alueen peltoisuus on noin 24 prosenttia ja Luhtajoen noin 34 prosenttia (VALUE-työkalu, Corine 2012). Luhtajoessa sijaitsee vesistöalueen toiseksi suurin koski, Kuhakoski. Muuten näiden jokien koskialueet eivät ole valuma-alueen mittakaavassa merkittäviä. Joet ovat enimmäkseen kapeita ja matalia, kuten koko vesistöalueella (Uudenmaan liitto 1997). Luhtajoen alueet ovat uoman kooltaan suurempia kuin Lepsämänjoen yläosan alueet. Pudotuskorkeudet on määritetty alueille Maanmittauslaitoksen Paikkatietoikkuna-palvelun maastoprofiilityökalun avulla.



Kuva 2. Vantaanjoen kipsihankkeen kalastotutkimusalueiden sijainnit sekä mädinhaudontakokeen korien paikat uomassa ja sähkökoekalastuksen koealat. Isoniityntien alapuolinen koskialue oli koekalastusala, mutta mädinhaudontakokeen korit olivat sen alapuolisella virta-alueella, joka myös koekalastettiin jälkimmäisenä vuotena. Lepsämänjoen automaattimittausasema Le50 on merkitty karttaan mustalla ympyrällä.

2.1.1. Luhtajoki

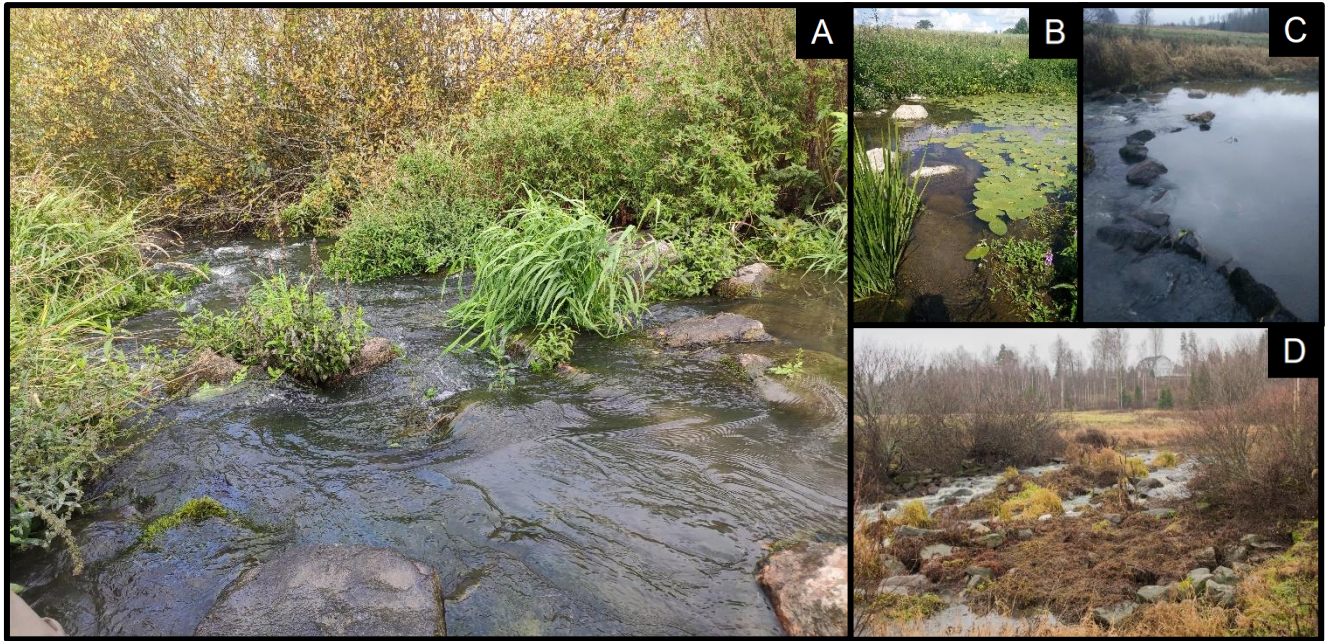
Haukankoski on Luhtajoen yläosassa Koiransuolenojassa sijaitseva koskialue, joka on viranomaiskunnostettu Uudenmaan Ympäristökeskuksen toimesta Koiransuolenojan ja Matkunojan kalataloudellisen kunnostuksen yhteydessä vuonna 2003 (Sivonen ym. 2018). Koskialue on monipuolinen, noin viisi metriä leveä ja noin 200 metriä pitkä. Pudotuskorkeus on noin viisi metriä. Haukankoski sijaitsee 63 kilometrin päässä merestä, muttei ole merestä vaeltavien vaelluskalojen saavutettavissa Kuhakosken muodostaman nousuesteen takia. Uomassa on runsaasti puuainesta ja lohikalojen poikasille sopivaa kivikkoa. Varsinaiset lisääntymisalueet sijaitsevat virta-alueen yläosissa, jonne on tuotu runsaasti kutemiseen soveltuvaa soraa.



Kuva 3. Haukankosken tutkimusalue. **A)** Sähkökoekalastettu koskialue on monipuolinen ja noin viisi metriä leveä. **B)** Kosken yläosaan kaivettiin mädinhaudontakokeen korit. (Kuva B Oula Tolvanen).

Jokirannankoski on lyhyt, vain noin 25 metriä pitkä kivistä rakennetun pohjakynnyksen muodostama koskialue Luhtajoessa Jokirannan alueella. Se sijaitsee suurten peltoalueiden keskellä ja kärsii hajakuormituksesta. Koskialue koostuu kahdesta uomasta, joiden välissä sijaitsee kesäaikaan kuivana oleva kasvillisuuden valtaama saareke. Pohja on suurien kivien ja lohikareiden peittämä. Virta-alueen ylä- ja alapuolella on hidasvirtaista suvantoa, jossa kasvaa pintalehtistä makrofyyttikasvustoa. Pudotuskorkeutta koskella on noin 1,6 metriä. Koskessa ei ole lohikaloille soveltuvia lisääntymisalueita, minkä takia mädinhaudontakoetta

varten sinne tuotiin muutama ämpärillinen soraa kosken niskalle. Pienpoikasalueita koskesta kuitenkin löytyy kohtalaisesti, sillä ranta on hyvää kasviston suojaamaa poikashabitaattia.



Kuva 4. Jokirannankosken tutkimusalue. **A)** Kosken pohjoispuolinen uoma on kapea ja jyrkkä porrastuksineen. **B)** Kosken niskalla kasvaa kesäisin runsaasti makrofyyttejä, ja alue on silminnähden rehevä. **C)** Muina vuodenaikoina kuin kesällä kosken niskalla on parempi virtaus eikä uoma ole selkeästi jakautunut kahtia. **D)** Koskialue on lyhyt ja kahtiajakautunut. (Kuva D Oula Tolvanen).

Kuhakoski on yli 200 metriä pitkä, voimakasvirtainen koski, jolla on pudotuskorkeutta noin 16 metriä. Koski on voimakkaasti muokattu ja perattu, koska koskessa on ollut aikaisemmin myllyjä sekä pieni voimalaitos. Jäljelle jäänyt jyrkkä putous muodostaa nousuesteen, joka estää vaelluskalojen kulun Luhtajoen yläosiin. Kuhakosken alaosassa vesi kulkee useita pieniä uomia pitkin, joista osa kuivuu kesäksi. Pienet uomat toimivat erinomaisina pienpoikasalueina. Lohikalojen lisääntymiseen soveltuvaa soraa on pääasiassa vain kosken alaosilla, joka on myös matalampi. Kuhakoskella seurataan taimenen ja lohen luonnonlisääntymistä vuosittain, sillä se kuuluu Vantaanjoen yhteistarkkailun kalataloudelliseen tarkkailuohjelmaan (Haikonen ym. 2019).



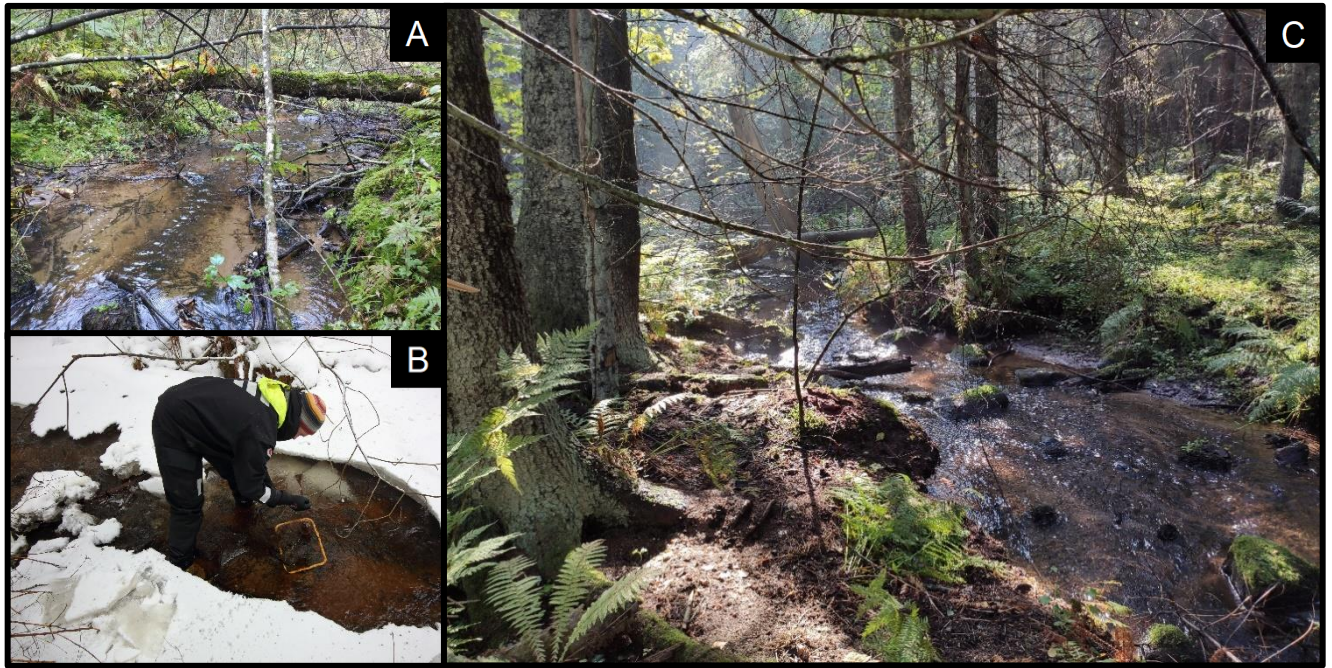
Kuva 5. Kuhakosken tutkimusalue. **A)** Mädinhaudontakokeeseen valikoitunut osa koskesta on vuolas ja koostuu isommista kivistä. **B)** Sähkökoekalastusalan kohdalla uoma on kapeampi ja varjoisampi.

2.1.2. Lepsämänjoki

Myllyojan tutkimusalue sijaitsee Myllypurontien eteläpuolella noin 61 kilometrin päässä merestä Röykän jäteveden siirtoviemäripumppaamon vieressä. Myllyoja saa alkunsa läheisiltä soilta ja on hyvin pohjavesivaikutteinen. Uoma on lähes luonnontilainen ja virtaa metsän keskellä, vaikka sijaitseekin lähellä asutusalueita. Myllyoja muuttuu Tuhkurinojaksi Ruosteenojan liittyessä siihen noin puolentoista kilometrin päässä tutkimusalueesta. Tutkimusalueen yläpuolinen alue on kivikkoinen jyrkkä rinne, joka toimii nousuesteenä kaloille ylävirtaan. Pudotuskorkeutta virta-alueella on noin yhdeksän metriä. Uoma on kapea, matala ja puustoinen ja veden väri on selvästi ruskehtavampi kuin alapuolisessa Tuhkurinojassa (kuva 6B). Uoman pohja koostuu hienosta hiekasta ja sorasta. Lohikaloille sopivaa lisääntymisaluetta on runsaasti, kuten myös poikasaluetta ja suojapaikkoja.

Isoniityntien alapuolinen tutkimusalue sijaitsee kolmen suuren peltolohkon keskellä Tuhkurinojassa, nimensä mukaisesti Isoniityntien eteläpuolella 60 kilometrin päässä merestä. Uoma on kapea ja pääasiassa savipohjainen sekä virran uurtama (kuva 7A). Isoniityntien alittavien tierumpujen sekä niiden alapuolisen pellolle johtavan sillan jälkeen virta-alueella on kivikkoa ja lohikaloille sopivia lisääntymisalueita. Muilta alueilta uoma on

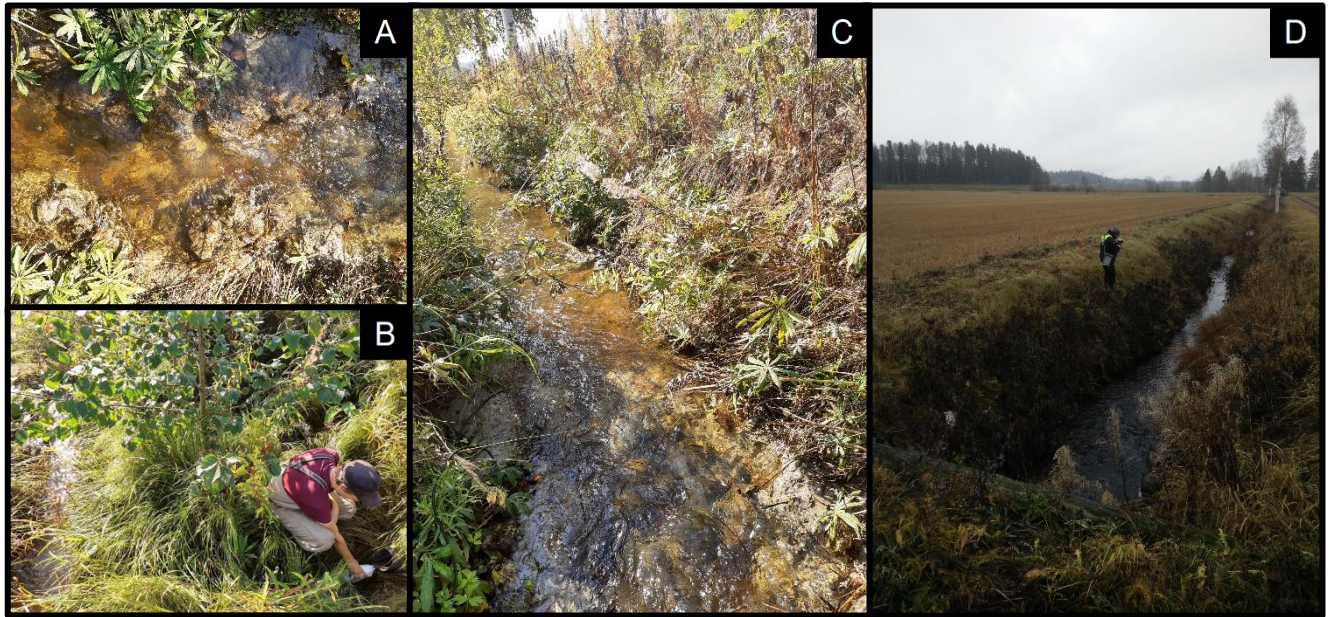
peratumpaa ja suurempaa. Uoma on keskeltä varsin avoin alueen ainoiden puiden kasvaessa rivissä Isoniityntien varrella, mutta rantapenkkojen heinikot ja rantapenkat tarjoavat kaloille runsaasti suojaa uoman reunoilla. Kokonaisuudessaan virta-alue on noin 600 metriä pitkä ja keskimäärin alle kaksi metriä leveä. Pudotuskorkeutta on noin neljä metriä. Uoman puolivälissä sijaitsee yläpuolisen pellon salaojien kokoomaputki, josta uomaan valuu pelloilta tulevaa vettä. Tutkimusalueen yläosalla tehtiin koekalastus molempina vuosina, kun taas alaosassa toteutettiin mädinhaudontakoe ja koekalastus jälkimmäisenä vuotena.



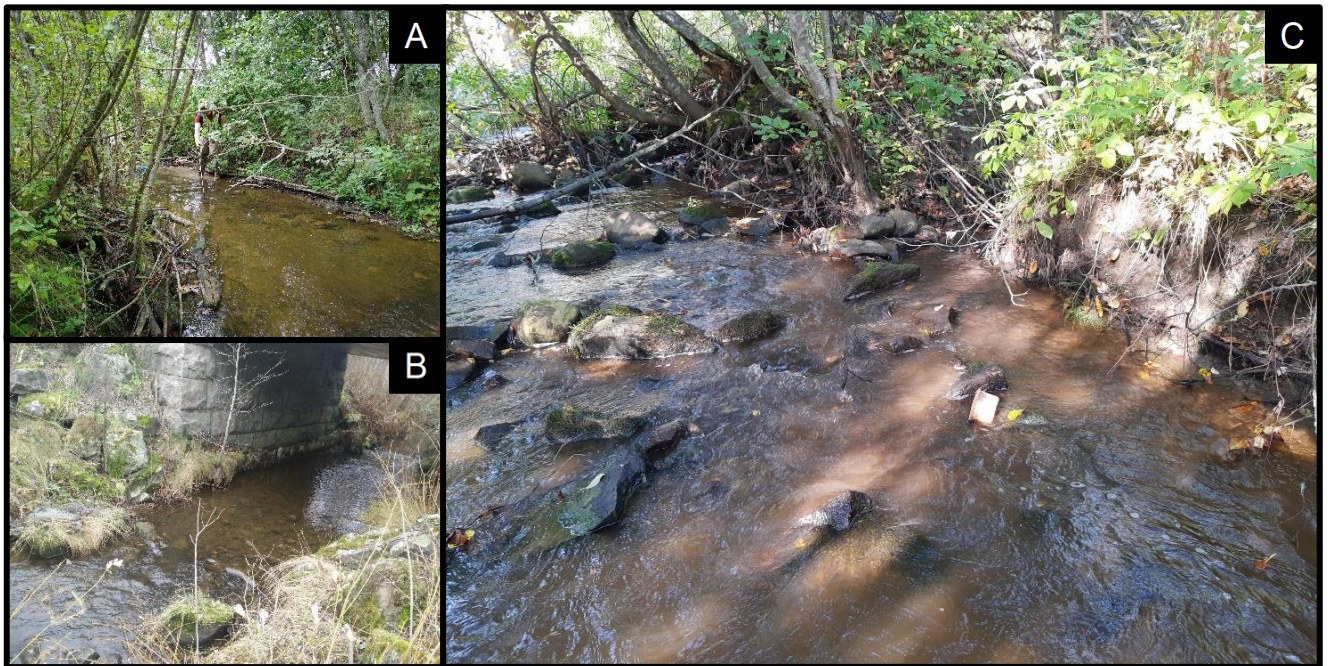
Kuva 6. Myllyojan tutkimusalue. **A)** Virta-alueella on paljon puuainesta. **B)** Pohjavesivaikutuksen takia uoma pysyy talvellakin auki. Vesi on humuspitoista muihin tutkimusalueisiin verrattuna. **C)** Uoma on luonnontilainen ja hyvin varjostettu. (Kuva B Pasi Valkama).

Nummenpäntien alapuolinen tutkimusalue sijaitsee Tuhkurinojassa Mikkolanmäen jäteveden siirtoviemäripumppaamon kohdalla. Varsinainen virta-alue on noin 40 metriä pitkä ja alkaa ylikulkevan Nummenpäntien pohjoispuolelta. Uoma levenee hieman Nummenpäntien sillan jälkeen, mutta kaventuu jälleen pumppaamolta tulevan ojan kohdalla ja pohja muuttuu saviseksi uoman kulkiessa peltojen välissä. Virta-alueen yläosissa pohja on kivinen, varsinkin sillan kohdalla, mutta lohikalojen lisääntymiseen tarvittavaa soraa alueella ei ole, kuten ei myöskään poikasalueina toimivaa kivikkoa. Virta-alue koostuu luonnonkivistä ja sillan rakentamisesta tulleen louhikosta, jonka alta tulee nopeasti vastaan savimaa. Suojapaikkoja lohikaloille olisi runsaasti rantapenkassa ja uomassa olevien puiden takia, jotka myös padottavat paikoittain vettä. Siirtoviemäripumppaamolta tuleva

ylivuotouoma (kuva 8C) tuo uomaan selvästi kiintoainespitoista vettä ja ajoittain jäteveden ohituksissa myös jätevettä, mikä heikentää suuresti alueen potentiaalia toimia lohikalojen lisääntymisalueena. Virta-alueen pudotuskorkeus on vain noin kaksi metriä.



Kuva 7. Isoniityntien alapuolinen tutkimusalue. **A)** Pohja on savinen ja virran uurtama. **B)** Kipsatuilta pelloilta tulee valuntaa salaojaputken kautta. Putkesta otettiin vesinäytteitä tutkimusten aikana. **C)** Kapeaa uoma varjostaa rantapenkan kasvillisuus. **D)** Uoma kulkee peltojen vieressä. Mädinhaudontakokeen korien sijoituspaikan yläpuolella sijaitsee silta pellolle. (Kuvat A, B ja C Oula Tolvanen).



Kuva 8. Nummenpääntien alapuolinen tutkimusalue. **A)** Alapuolinen osuus on savipohjaista ja varjoisaa. **B)** Sillan kohdalla pohja on kiveä. **C)** Virta-alueen keskivaiheilla uoma on leveämpi ja kivikkoinen. Pumppaamolta tuleva oja laskee uomaan korkeiden rantapenkkojen välistä. (Kuva A Elias Haro ja C Oula Tolvanen).

2.2. Sähkökoekalastukset

Sähkökalastusta käytetään kalayhteisöjen rakenteen tutkimuksiin sekä kalakantojen biomassan ja tiheyden arviointiin (Bohlin ym. 1989; Olin ym. 2014). Sen tarkoituksena on saada mahdollisimman tarkka arvio kaikista alueella esiintyvistä kalalajeista. Suomessa käytössä oleva sähkökalastusmenetelmä on tehokas ja sopii puroihin, pienehköihin jokiin ja isompien jokien matalien koskialueiden kalastukseen (Olin ym. 2014).

Vantaanjoen kipsihankkeessa sähkökoekalastuksilla saatiin tietoa alueen kalakannoista valituilla tutkimusalueilla ja kipsin levittämisen vaikutuksista näihin alueellisiin kalakantoihin. Koekalastuksilla pyrittiin selvittämään kipsin levityksen vaikutuksia lajistoon ja lajien runsaussuhteisiin sekä määrittämään koealojen kalaston ekologinen tila kansallisen jokien kalaindeksin (Finnish Fish Index [FiFI]) (Vehanen ym. 2010) perusteella. Ekologisen tilan määrittäminen perustuu viidelle eri muuttujalle laskettujen indeksien keskiarvoon. Muuttujina ovat lajilukumäärä, särkikalojen tiheys, herkkien (intolerantit) ja kestävien lajien (tolerantit) suhteellinen osuus lajimäärästä sekä 0+-ikäisten lohen- ja taimenenpoikasten tiheys (Vehanen ym. 2010). Kalaindeksin laskemisessa ei oteta huomioon eri kalalajien pyydystettävyyttä.

Sähkökalastus on valikoiva menetelmä ja eri lajien välinen pyydystettävyyys vaihtelee suuresti (Bohlin ym. 1989; Olin ym. 2014). Esimerkiksi vapaan veden lajit sekä pohjalla koloissa ja kivien välissä elävät lajit, kuten kivisimppu (*Cottus gobio* L.), kivennuoliainen (*Barbatula barbatula* L.) ja made (*Lota lota* L.), ovat huomoinn pyydystettävissä kuin koskipaikoilla paikallaan pysyvät lajit, kuten lohi (*Salmo salar* L.) ja taimen (Olin ym. 2014). Useammalla poistopyynnillä voidaan kompensoida näiden lajien huonompaa pyydystettävyyttä (Bohlin ym. 1989). Myös yhden poistopyynnin koekalastuksessa voidaan arvioida virta-alueen eri lajien todellista yksilömäärää pyydystettävyyssarvojen avulla, jotka perustuvat tutkittuihin pyydystettävyyksiin useammilla pyyntikerroilla.

Hankkeen kalastotutkimuksissa määritettiin eri kalalajien laskennalliset tiheydet tutkimusalueilla aaria kohden pyydystettävyyssarvot huomioiden, kalojen biomassat lajeittain ja alueittain sekä kalaindeksi. Laskettujen kalaindeksin arvojen perusteella määritettiin tutkimusalueiden ekologinen luokka käyttämällä Suomen ympäristökeskuksen laatimia luokkarajoja eri jokityypeille (Aroviita ym. 2019). Vuoden 2018 tuloksia käytettiin

vertailuaineistona vuoden 2019 tuloksille, jolloin voitiin vertailla kipsin vaikutusta kalakannan tilan muutoksiin.

Kipsihankkeen kalastotutkimuksissa pyydystettävyyssarvoina lasketuille tiheysestimaateille käytettiin ympäristöhallinnon koekalastusrekisterin arvoja, jotka ovat taimenille (>0+-ikäiset) 0,6 ja kesänvanhoille taimenille (0+-ikäiset) 0,4 (Ympäristöhallinto 2019b). Tämä tarkoittaa, että esimerkiksi yhden poistopyynnin koekalastuksella saadaan pyydystettyä arviolta 40 prosenttia koekalastusalalla olleista kesänvanhoista taimenista.

VHVSY toteutti tutkimusalueiden sähkökoekalastukset Kuhakoskea lukuun ottamatta, jonka koekalastukset kuuluivat Vantaanjoen yhteistarkkailun kalastotutkimukset tekevälle Kala- ja vesitutkimus Oy:lle. Vantaanjoen kipsihankkeen sähkökoekalastukset toteutettiin kahtena eri vuonna elo–syyskuussa. Vuosina 2018 ja 2019 koekalastukset tehtiin syyskuun 10. päivänä Kuhakosken koealaa lukuun ottamatta, jonka Kala- ja vesitutkimus Oy kalasti vuonna 2018 syyskuun 12. päivänä (Haikonen & Kervinen 2019) ja vuonna 2019 elokuun 5. päivänä (Haikonen ym. 2020).

Kipsihankkeen kalastotutkimusten uudet sähkökoekalastusalueet valittiin tutkimusalueilta niin, että ne edustivat kohteessa esiintyviä elinympäristöjä. Valinnassa pyrittiin siihen, että koealalla esiintyisi virrannopeuksien, pohjan raekoon, vesisyvyyksien sekä varjostuksen ja kasvillisuuden vaihtelua.

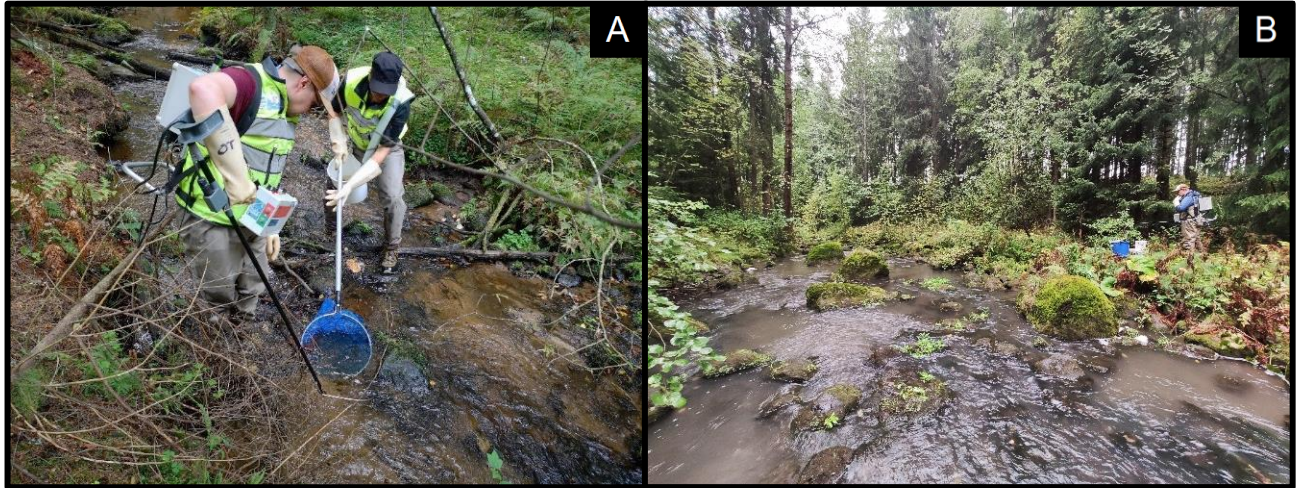
Vantaanjoen kipsihankkeen kalastotutkimusten sähkökalastuksissa noudatettiin pääosin Eurooppalaista CEN-standardia (Water quality – Sampling Fish with Electricity, SFS-EN 14011) käytettävien varusteiden, laitteiden ja toimintatapojen osalta. Sähkökoekalastus toteutettiin vesipolitiikan puitedirektiivin mukaisesti yhden poistopyynnin menetelmällä (Aroviita ym. 2019). Tutkimusalueiden koealat kalastettiin koko uoman leveydeltä (Jokirannankoskelta vain toinen rinnakkaisista uomista) kalastettavan alueen pituuden ollessa vähintään kahdeksan kertaa suurempi kuin uoman leveys. Koealojen pinta-alat vaihtelivat reilusta 50 neliömetristä (Jokirannankoski) aina 240 neliömetriin asti (Haukankoski) riippuen virta-alueen koosta ja kalastettavuudesta. Koeala pyrittiin pitämään mahdollisimman samana vuosien välissä. Pienet erot johtuvat pääasiassa erilaisista uoman leveyden mittauksista vuosien välillä lukuun ottamatta Haukankoskea, jossa päätettiin suuren saaliin takia jättää pieni alue kalastamatta jälkimmäisenä vuotena.

Sähkökoekalastusten saalis laskettiin ja punnittiin. Lohikalat ja suurimmat yksilöt muistakin lajiryhmistä punnittiin yksilökohtaisesti ja niiden pituus mitattiin. Muista kaloista punnittiin lajikohtainen yhteispaino. Vammat, vauriot ja haavaumat raportoitiin kalakohtaisesti. Lohikaloista laskettiin saman vuoden poikaset erikseen vanhemmista ikäluokista. Lisäksi kirjattiin perustiedot koekalastuspaikasta ja ympäristömittauksista.

Suurimmista taimenista otettiin suomunäytteet koekalastuksen aikana tehtyjen iänmääritysten tarkentamiseen ja eri alueiden taimenkannan kasvunopeuksien arviointiin. Molempina vuosina otettiin seitsemän suomunäytettä kookkaimmista taimenyksilöistä. Vuonna 2018 näytteet otettiin Myllyojan, Isoniityntien ja Haukankosken kaloista ja vuonna 2019 vain Myllyojan ja Haukankosken taimenista. Kalojen käsittelyä varten käytettiin nukutusainetta, jota annosteltiin erilliseen astiaan, johon käsiteltävät kalat siirrettiin hetkellisesti ennen mittauksia. Nukutusaineena käytettiin Samarin-hedelmäsuolaa ja kerran neilikkaöljyä suuremman koekalastussaaaliin kanssa.

VHVSY:n tekemissä hankkeen sähkökoekalastuksissa käytettiin Hans Grassl GmbH – IG200-2C -akkukäyttöistä sähkökoekalastuslaitetta. Pulssin frekvenssinä käytettiin 50 Hz virran voimakkuuden ja jännitteen ollessa asetuksilla 1 ja 2 (Power selector level 1: normal pulse operation [input current max 15A, output power 5 kW/pulse], Voltage selector level 2: 600 Vss). Myös Kala- ja vesitutkimus Oy:n tekemissä koekalastuksissa käytettiin mallin IG200-2-koekalastuslaitetta (Haikonen & Kervinen 2019; Haikonen ym. 2020).

Virtaamaolosuhteet olivat koekalastusten aikana normaalit Kuhakosken elokuun 2019 koekalastusta lukuun ottamatta, jolloin veden korkeus oli alhainen. Tutkimusalueilla virrannopeudet olivat keskimääräisiä ($0,2\text{--}0,7\text{ m s}^{-1}$) ja veden lämpötila $12,2\text{--}14,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Koekalastusalan keskimääräinen syvyys oli $0\text{--}20$ senttimetriä muilla tutkimusalueilla paitsi Jokirannankoskella, jossa syvyys oli $20\text{--}40$ senttimetriä. Koekalastusten aikaiset ympäristöolosuhteet olivat erinomaiset sähkökoekalastukseen molempina vuosina (kuva 9). VHVSY:n toteuttamien koekalastuksien tulokset tallennettiin saman vuoden aikana ympäristöhallinnon ylläpitämään koekalastusrekisteriin.



Kuva 9. VHVSY:n sähkökoekalastusten aikaan olosuhteet olivat optimaaliset sekä vuonna 2018 (A) että vuonna 2019 (B). Kuvat ovat Myllyojan ja Haukankosken koekalastuksista. (Kuva A Elias Haro).

Tutkimusalueista Myllyojassa, Kuhakoskella ja Haukankoskella oli tehty aikaisemminkin sähkökoekalastuksia. Haukankoski oli koekalastettu ennen tehtyjä viranomaiskunnostuksia vuonna 2002, jolloin saaliiksi saatiin yksi harjus ja kuusi töröä (Lehtinen 2002). Silloisten tulosten perusteella pidettiin todennäköisenä, että taimen oli hävinnyt koskesta, vaikka koski vaikutti hyvältä taimenen elinympäristöltä ja taimenta esiintyi vielä läheisillä koskialueilla (Lehtinen 2002).

Myllyojan koekalastusalue kuului aikaisemmin Vantaanjoen yhteistarkkailun sähkökoekalastusalueisiin vuosina 2002–2006 Röykän jätevedenpuhdistamon yläpuolisena vertailualana. Vantaanjoen kipsihankkeen koekalastuksiin valittu alue on sama kuin entinen yhteistarkkailun ala (Myllyoja, yläpuoli; Saura ym. 2003), joka kuitenkin kirjattiin Luonnonvarakeskuksen tekemän HEALFISH-hankkeen koekalastuksen yhteydessä vuonna 2011 ympäristöhallinnon koekalastusrekisteriin nimellä Myllypuro, Röykkä (Ympäristöhallinto 2019b). Luonnonvarakeskuksen koeala oli kooltaan noin tuhat neliometriä, mikä on huomattavasti enemmän kuin yhteistarkkailussa tai kipsihankkeen koekalastuksissa. Tämän takia se ei ole koealana täysin verrannollinen muihin. Ennen hankkeen kalastuksia alueelta oli saatu sekä kesänvanhoja (0+) että sitä vanhempia (>0+) taimenia ja yksi made yhteensä neljällä eri koekalastuskerralla (Saura ym. 2003; 2005; Haikonen ym. 2007; Ympäristöhallinto 2019b).

Kuhakoski kuuluu Vantaanjoen yhteistarkkailun sähkökoekalastusaloihin, ja se on koekalastettu tarkkailuohjelman mukaisesti kahden vuoden välein vuodesta 2000 vuoteen 2014, jolloin tehtiin tarkkailuohjelman päivitys. Tämän jälkeen seuranta on tehty vuosittain. Kuhakoskea on käytetty Klaukkalan jätevedenpuhdistamon yläpuolisena vertailualana, jossa seurataan taimenen ja lohen luonnonlisääntymistä (Haikonen ym. 2019). Ensimmäiset tarkkailuohjelman mukaiset koekalastukset on tehty jo vuonna 1984. Koekalastusten perusteella taimen lisääntyy Kuhakoskella vaihtelevasti ja koskesta on saatu saaliiksi jopa yhtätoista eri kalalajia (Ympäristöhallinto 2019b).

2.3. Mädinhaudontakoe

Mädinhaudontakokeella voidaan selvittää jokiveden laadun soveltuvuutta taimenen luontaiselle lisääntymiselle (Arola ym. 2019). Kokeessa laitetaan suljettuihin sylintereihin taimenen mätimunia, jotka sijoitetaan taimenien luontaista kutupesää mukailevasti soralla täytettyihin koreihin jokeen eri testialueille. Sylintereitä nostetaan testijakson aikana kuoriutumiseen asti, jolloin saadaan arvio alkioden selviytymisestä. Selviytymiseen vaikuttavat monet tekijät, minkä takia kokeen suunnitteluvaiheessa on tärkeää selvittää tutkimusalueen soveltuvuus muilta osin.

Vantaanjoen kipsihankkeen kalastotutkimusten mädinhaudontakoe pyrittiin toteuttamaan samalla tavalla kuin aikaisemmat Suomessa tehdyt kokeet, joita on tehty muun muassa Keski- ja Itä-Suomen virtavesissä (Syrjänen ym. 2008; Syrjänen 2016; Arola ym. 2019). Etelä-Suomessa mädinhaudontakokeita on toteutettu esimerkiksi Savijoella (Arola 2019) sekä Tuusulanjoessa ja Vuohikkaanojalla (Sivonen & Leinonen 2018).

Mädinhaudontakokeen valmistelussa pyrittiin mahdollisimman hyvin huomioimaan, että taimen vaatii tietyntyyiset ympäristöolot lisääntymiseensä. Kutupaikan valintaan vaikuttavat muun muassa veden virtausnopeus ja syvyys, pohjan materiaali sekä pohjaveden esiintyminen (Jonsson & Jonsson 2011). Taimenet suosivat sellaisia kohtia, joissa pohja koostuu vaihtelevan kokoisesta sorasta ja muutamista isommista kivistä (Jonsson & Jonsson 2011). Soran tulee olla riittävän karkeaa ja läpäisevää, jotta mätimunia hapettava vesi pääsee

virtaamaan soraikon sisällä (Louhi & Mäki-Petäys 2003). Esimerkiksi Kymijoessa kutupesän sora on tyypillisesti halkaisijaltaan 16–64 millimetriä (Syrjänen ym. 2013).

Taimenen kutupesälle sopiva virrannopeus on tyypillisesti Suomessa 0,25–0,40 m s⁻¹ ja syvyys 20–30 cm (Louhi & Mäki-Petäys 2003). Vaihtelua esiintyy kuitenkin runsaasti. Esimerkiksi Kymijoessa taimenen kutupesät sijaitsivat keskimäärin 57 senttimetrin syvyydessä (väli 19–110 cm) ja virrannopeus on soran pinnalla noin 0,27 m s⁻¹, (väli 0,04–0,75 m s⁻¹) (Syrjänen ym. 2013). Mädin päällä olevan sorakerroksen koko vaihtelee tutkimuksista riippuen 1–20 senttimetrin (Syrjänen ym. 2013) tai 8–27 senttimetrin välillä (Louhi & Mäki-Petäys 2003).

Kipsihankkeen mädinhaudontakokeessa sylintereissä käytettiin pääasiassa halkaisijaltaan noin 16–32 millimetrin soraa. Koreissa sora oli vaihtelevamman kokoista, mutta pääsääntöisesti 16–64 mm. Korit pyrittiin sijoittamaan sopiviin virtakohtiin, noin 30–60 senttimetrin syvyyteen niille kaivettuihin mataliin kuoppiin, jotta sylinterit olisivat lähempänä pohjan muun soran tasoa. Korin päälle tavoiteltiin 0,20–0,40 m s⁻¹ virrannopeutta ja mädin päälle laitettiin noin 5–10 senttimetrin paksuudelta soraa. Sijoittelulla pyrittiin jäljittelemään taimenen luontaista kutupesää.

Ennen kokeen aloitusta jokainen tutkimusalue käytiin tarkastamassa ja mätikorien paikat suunniteltiin ja valmisteltiin ennakkoon. Valmisteluun kuului pohjan pöyhminen talikolla ja korin paikan kaivaminen sopivan syvyyseksi lapiolla. Lisäksi paikalle siirrettiin valmiiksi soraa sekä sopivat kivet korien paikalla pysymisen varmistamiseksi, ja virran nopeus mitattiin korin kohdalta Schiltknecht MiniAir20 -virtausmittarilla valitun paikan sopivan virtausnopeuden varmistamiseksi.

Kaikille tutkimusalueille laitettiin kaksi mädinhaudontakoria, joissa jokaisessa oli kuusi mätisylinteriä. Lisäksi Nummenpääntien tutkimusalueelle sijoitettiin ylimääräinen kolmas kori, jotta mätisylintereitä voitaisiin tarvittaessa nostaa suunnitelmasta poikkeavalla aikataululla esimerkiksi Röykän alueen jäteveden siirtolinjaston ylivuotojen tai muiden havaittujen epätavallisten päästöjen aikana tarkemman kuolleisuusajan määrittämiseksi. Jokaisessa sylinterissä oli 50 merivaelteisen taimenen mätimunaa, eli yhdessä korissa oli 300 mätimunaa ja tutkimusalueella pääsääntöisesti 600 mätimunaa. Yhteensä kolmentoista korin kokeessa mätimunia laitettiin koealueille 3900 kuudelle tutkimusalueelle jaettuna.

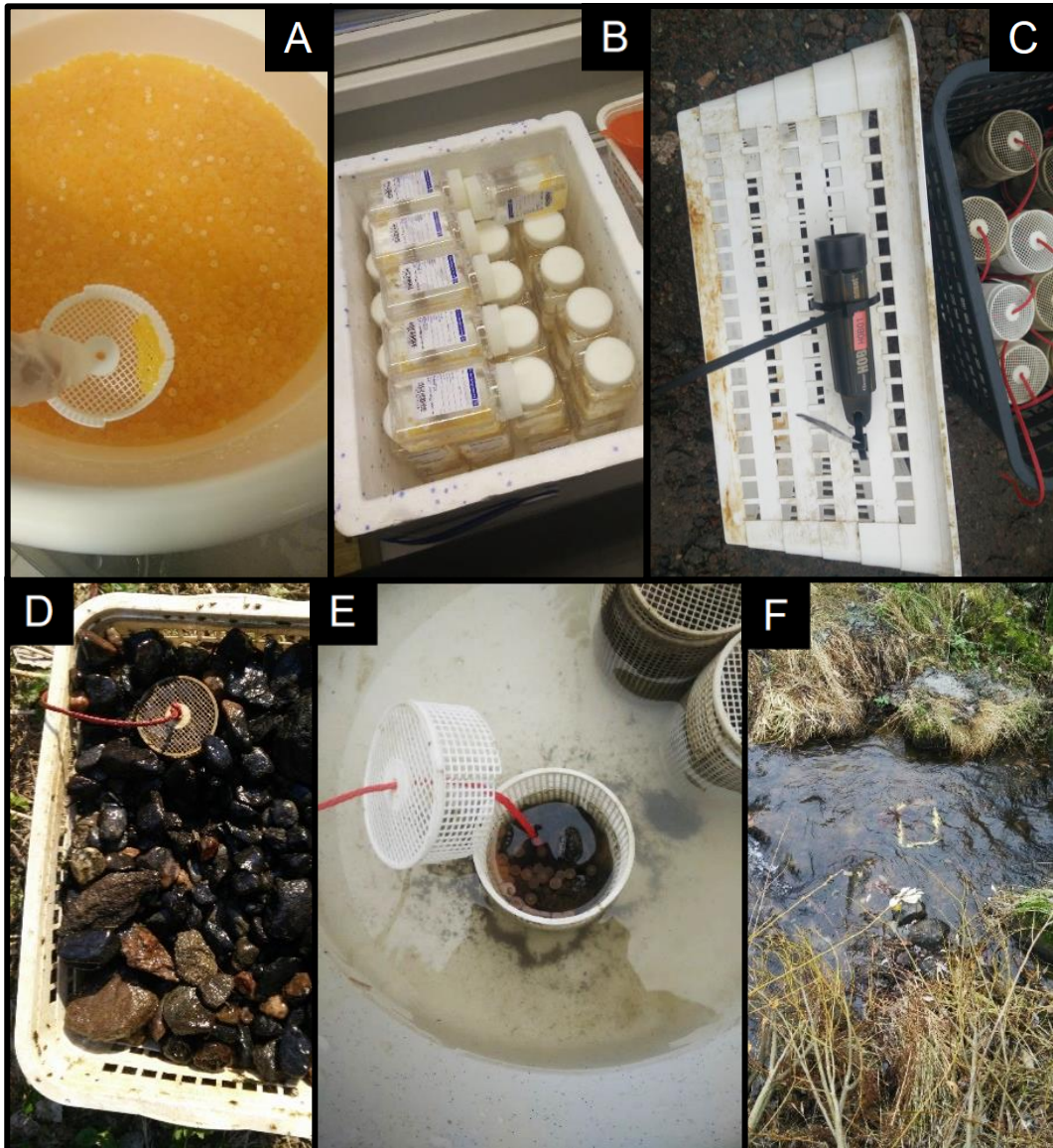
Mädinhaudontakokeessa käytettyjen muovisten monitoimikorien tilavuus oli noin 15 litraa (38*27*15 cm). Jokaiselle koealueella laitettiin yhteen koriin kiinni nippusiteillä HOBOLämpötilamittari (HOBOWater Temperature Pro v2 Data Logger, mittaustarkkuus $\pm 0,21$ °C) (kuva 10C) mittaamaan veden lämpötilaa kolmen tunnin välein, jotta alueilta pystyttiin myöhemmin laskemaan päivien lämpötilasumma. Kokeessa käytettiin sekaisin kaksia kahden desilitran kokoisia muovisia verkkosylintereitä, jotka olivat mitoiltaan ja muovin paksuudeltaan hieman erilaisia. Sylinterit olivat suljettavia ja niiden silmäkoko oli niin pieni, ettei mätä tai kuoriutunut poikanen voinut päästä sylinteristä.

Mädinhaudontakoe aloitettiin keskiviikkona 31.10.2018. Kokeessa käytetty taimenen mätä haettiin Luonnonvarakeskuksen Laukaan kalanviljelylaitokselta. Mätä oli hedelmöitetty edellisenä päivänä ja desinfioitu Buffodine-desinfiointiaineella sitä seuraavana aamuna. Lypsyssä oli käytetty Ingarskilanjoen kannan kymmentä emokalaa ja neljää koiraskalaa. Kalanviljelylaitoksella laskettiin sylintereihin tarvittavat mätimunat valmiiksi viidenkymmenen kappaleen erissä 87 muovipurkkiin, joiden tilavuus oli noin kolme desilitraa (kuva 10). Purkit ja loput mädit kuljetettiin kylmälaukuissa jäähileillä viilennettyinä.

Jyväskylästä mädit kuljetettiin suoraan tutkimusalueille. Edellisenä päivänä sylintereihin oli lisätty kerros soraa, joiden päälle kaadettiin laskettu purkillinen mätimunia (kuva 10E). Samalla tarkistettiin, että jokainen mätimuna oli elossa. Sylinteri täytettiin loppuun asti soralla ja solmittiin kiinni sylinterin läpi kulkevalla narulla. Kuusi sylinteriä kerrallaan upotettiin soralla täytettyyn koriin ja peiteltiin ohuella sorakerroksella niin, että vain korien narut näkyivät. Korit sijoitettiin niille valmisteltuihin paikkoihin ja niiden sivuille ja taakse aseteltiin yksittäisiä isompia kiviä pitämään korit paremmin paikoillaan. Korien päältä mitattiin virrannopeus MiniAir20-virrannopeusmittarilla, syvyys vedenpinnasta ja veden lämpötila. Jokaisesta korista ja myöhemmin nostetusta sylinteristä täytettiin koetta varten suunniteltu sähköinen kenttälomake.

Kaikki korit saatiin veteen arviolta 24–40 tunnin kuluttua mädin hedelmöityksestä. Ensimmäisen ja viimeisen korin välillä oli noin kahdeksan tunnin aikaero. Viimeisillä tutkimusalueilla jouduttiin lasketuista 50 mätimunaa purkeista poistamaan kuolleita mätimunia ja korvaamaan niitä elävillä. Lisäksi pimeys ja taimenten kutupesien varominen

hankaloittivat työskentelyä. Kutupesiä havaittiin kaikilla muilla paikoilla paitsi Jokirannankoskella ja Nummenpääntiellä.



Kuva 10. Mädinhaudontakokeen aloitus. **A)** Desinfioitujen hedelmöityneiden mätimunien laskeminen 50 kappaleen erissä muovipurkkeihin. **B)** Muovipurkeissa olevat mädit kuljetettiin kylmälaukussa tutkimusalueille. **C)** Jokaisen tutkimusalueen ensimmäiseen koriin kiinnitettiin HOBO-lämpötilaloggeri. **D)** Korit ja sylinterit valmistettiin mahdollisimman valmiiksi ennen mätien laittamista sylintereihin. Kuvassa mallinnetaan sylinterin sijoittumista korissa. **E)** Valmiiksi puolittain soralla täytettyihin sylintereihin laitettiin vedessä 50 mätimunaa. Tämän jälkeen sylinteri täytettiin loppuun soralla ja kansi solmittiin kiinni. **F)** Korit aseteltiin sivuttain virtaa vasten uomaan valmiiksi valmistetuille paikoilla.

Mädinhaudontakokeen nostokertoja suunniteltiin yksi syksylle ja vähintään kolme keväälle. Suunnitelman mukaan jokaisesta korista nostettiin yksi sylinteri jokaisella nostokerralla, kunnes kaikki mädit olivat kuoriutuneet. Pelkkä sylinteri nostettiin vedestä näkyvän narun avulla ja sylinterin tilalle laitettiin soraa (kuva 11). Samalla tarkastettiin korien paikallaanpysyminen, soran huuhtoutuminen ja kiintoaineksen kertyminen koriin silmämääräisesti vesikiikarin avulla. Lisäksi mitattiin korin syvyys, virrannopeus korin kohdalla ja veden lämpötila. Korista nostettavat sylinterit arvottiin etukäteen Microsoft Excelin satunnaisluku-funktiolla, joka antoi luvun välillä 1–6, mikä vastasi virtaa vasten katsottuna korin vasemmasta yläkulmasta luettuna tiettyä sylinteriä.



Kuva 11. A) Mädinhaudontakokeen nostokerroilla nostettiin korista yksi ennalta arvottu sylinteri kerrallaan. **B)** Sylinterin tilalle laitettiin soraa ja korin ja sylinterien paikallaanpysyminen tarkistettiin vesikiikarin avulla. **C)** Sylinterin sisältö käytiin tarkasti läpi ja mätimunista eroteltiin löydetyt kuolleet ja elävät mätimunat sekä kuoriutuneet ja kuoriutuneet kuolleet poikaset. **D)** Lopuksi mitattiin veden lämpötila, virrannopeus korin päältä ja veden syvyys pinnasta korin yläosaan. (Kuvat B ja D Oula Tolvanen, C Pasi Valkama).

Nostetuista sylintereistä laskettiin elossa olevien mätimunien määrä ja kuoriutuneiden poikasten määrä sekä määritettiin, olivatko ne eläviä vai kuolleita. Kuolleet mätimunat laskettiin myös, mutta niiden kokonaismääräksi määritettiin hajoamisen takia se osuus mädistä, joka ei ollut elossa tai kuoriutunut. Laskennassa käytettiin apuna kahta vaaleaa vatiä ja pinsettejä.

Ensimmäisen nostokerran tavoitteena oli selvittää, miten mädin kuljetus kalanviljelylaitokselta ja sen käsittely aloituspäivän aikana vaikutti selviytymiseen eli mikä osuus kuolleisuudesta ei hyvin todennäköisesti johtunut vedenlaadusta. Sylinterien nostot

tapahtuivat 9.11.2018, mikä oli yhdeksän päivän kuluttua kokeen aloituksesta eli kymmenen päivän kuluttua mädin hedelmöityksestä. Tällä välillä vedenlaadussa ei ollut tapahtunut merkittäviä muutoksia.

Ensimmäisen nostokerran havaintojen perusteella suuresta lasketusta mätimäärästä ja kiireisestä aikataulusta johtuen muutamaan sylinteriin tuli poikkeava määrä mätää. Tämä huomioitiin ensimmäisen nostokerran laskennoissa, mutta ei enää sitä seuraavissa mahdollisista hajoamisista johtuen.

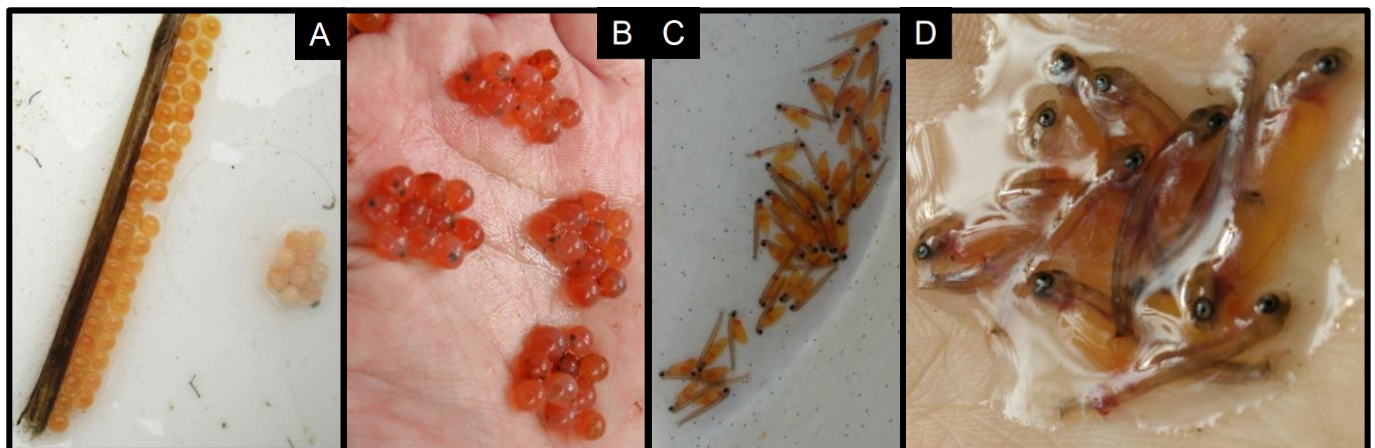
Ensimmäisen nostokerran jälkeen jokien vedenpinta ja samalla myös sähkönjohtavuus nousivat syyssateiden johdosta, ja korien paikallaan pysyminen käytiin varmistamassa tulvahuipun jälkeen 15.11.2018. Lisäksi koreja käytiin katsomassa jokien jäätyamisen alettua 27.11.2018, mutta kummallakaan kerralla yhtään koria ei jouduttu siirtämään tai muuten muokkaamaan. Muutamat korien reunoille ajautuneet lehdet siivottiin pois ja samalla huomattiin pientä kiintoaineksen kertymistä koreihin. Eniten ainesta, varsinkin hiekkaa, oli kertynyt Myllyojan koreihin.

Toinen sylinterien nostokerta tapahtui 92 päivän kuluttua kokeen aloituksesta 31.1.2019. Tammikuussa Nurmijärvellä oli paljon lunta, mikä vaikeutti mätikorien löytämistä ja sylinterien nostamista. Lähes kaikki korit olivat jääpeitteen alla. Varsinkin Isoniityntien tutkimusalueella veden pinta oli noussut huomattavasti aikaisemmasta ja korien kaivaminen lumihangen ja jään alta oli työlästä. Samalla huomattiin, että jääkansi oli jäätnyt hieman kiinni toiseen koriin ja hajotti muovikoria jättä nostettaessa. Jokirannankoskella jäätyminen oli muuttanut virtausta korien kohdalla, jota koetettiin korjata siirtämällä kiviä. Virtausnopeutta ei saatu mitattua virtausmittarin hajoamisen takia. Osa mädeistä oli jo silmäpisteasteella suuressa osassa tutkimusalueista, Myllyojassa taas kaikki (kuva 12B). Kiintoaineen kertyminen oli lisääntynyt kaikilla paikoilla.

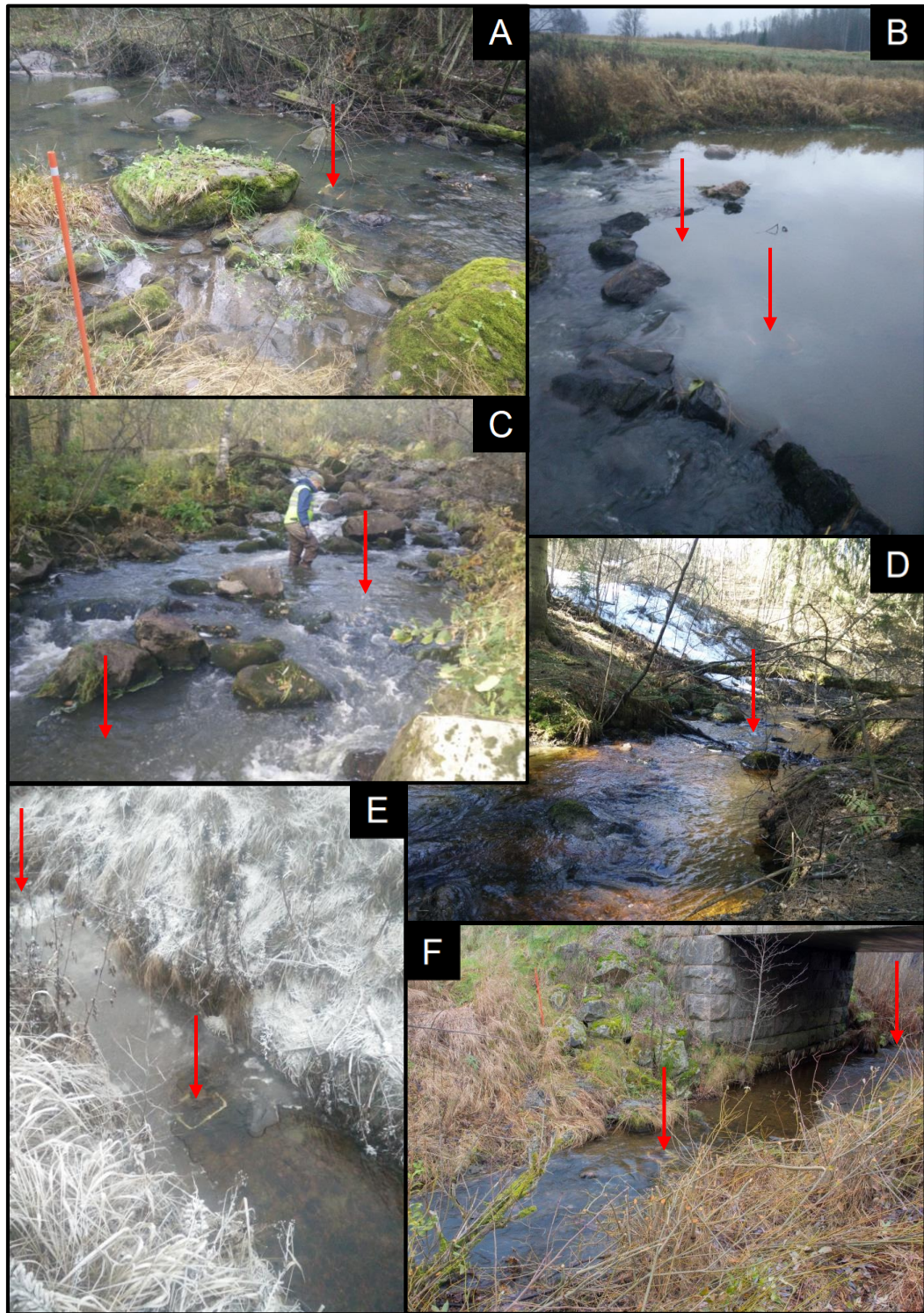
Kolmas nostokerta tapahtui 134 päivää kokeen aloituksen jälkeen 14.3.2019. Jääpeite oli jo lähes kokonaan sulanut, mikä helpotti korien löytämistä ja sylinterien nostoa. Jälleen kerran kaikista koreista nostettiin yksi sylinteri, paitsi Kuhakosken toisesta korista, jota ei enää löydetty. Todennäköisesti kori oli sulamisvesien tai jään liikkumisen myötä lähtenyt liikkeelle virrassa. Virtausmittauksia ei saatu kolmannelta nostokerraltakaan mittarin toimimattomuuden takia. Kaikki elossa olleet mätimunat olivat silmäpisteasteella.

Neljäs nostokerta tehtiin kuukauden päästä edellisestä 15.4.2019. Lumet olivat jo likimain sulaneet ja veden lämpötila oli alkanut nousta. Kuhakosken viimeistä ja Jokirannankosken toista koria ei enää löydetty, vaan ne olivat huuhtoutuneet virran mukana kevättulvan virtaamalisäyksen myötä. Myöhemmin löydetyn HOB0-loggerin avulla voitiin päätellä Kuhakosken korin lähteneen liikkeelle illalla 10.4.2019. Näiden lisäksi huomattiin kahden Nummenpääntien tutkimusalueen alimman korin sylintereistä hävinneen. Todennäköisesti joku oli käynyt ihmettelemässä sylinterien naruja rannalla tehtyjen pajukoiden raivausten yhteydessä. Toinen sylintereistä löydettiin viidennellä nostokerralla noin viiden metrin päästä korista alavirrasta.

Haukankoskea lukuun ottamatta kaikilta tutkimusalueilta löydettiin kuoriutuneita poikasia. Kuitenkin vain Myllyojassa selvä enemmistö mädistä oli kuoriutunut. Myllyojan sylinterien nostossa ei löydetty kuoriutumattomia eläviä mätimunua, joten koreista nostettiin toisetkin sylinterit. Näistä viimeisessä havaittiin kaksi kuoriutumattonta mätimunaa, minkä takia viimeiset sylinterit jätettiin vielä seuraavalle nostokerralle. Neljännellä nostokerralla havaittiin runsaasti kiintoainesta kaikissa nostetuissa sylintereissä. Veden virtausnopeus mitattiin SonTek FlowTracker -virtaamamittarilla.



Kuva 12. Mätimunien eri kehitysvaiheita. **A)** Vasemmalla kehittyviä elossa olevia mätimunia ja oikealla kuolleita mätimunia. **B)** Silmäpisteasteella olevia mätimunia. **C)** Vastakuoriutuneita poikasia. **D)** Myllyojan pitkälle kehittyneitä poikasia, joiden silmät ovat hyvin kehittyneet ja kylkien raidat erottuvat. (Kuva B Pasi Valkama).



Kuva 13. Mädinhaudontakorien paikat eri tutkimusalueilla. Kuvista puuttuvat yhdet alavirran puoleiset korit Haukankoskelta, Myllyojalta sekä Nummenpäntieltä. **A)** Haukankosken korit sijaitsivat keskivirrassa isompien kivien välissä. **B)** Jokirannankoskien korit sijoitettiin virta-alueen niskalle, johon tuotiin soraa. **C)** Kuhakosken toinen kori oli syvennyksessä sivuvirrassa ja toinen kahden virran muodostaman peilin kohdalla. Kuva on otettu korien paikkojen valmistelun aikana. **D)** Myllyojassa korit sijoitettiin valmiisiin soraikkoihin. **E)** Isoniityntien tutkimusalueen korit sijaitsivat lähekkäin kapeassa sorapohjaisessa uomassa. **F)** Nummenpäntien tutkimusalueen korit sijoitettiin virta-alueen yläosiin. (Kuva F Oula Tolvanen).

Mädinhaudontakoe päätettiin viidenteen nostokertaan 25.4.2019. Viimeisten nostokertojen välisenä kymmenenä päivänä veden lämpötila nousi mittausten mukaan 4–7 astetta tutkimusalueittain. Miltään alueelta ei enää löytynyt elossa olevia kuoriutumattomia mätimunia. Kaikilta tutkimusalueilta nostettiin jäljellä olevat sylinterit ja lopulta myös korit ja koe päätettiin. Virtausnopeudet mitattiin jälleen toimivalla MiniAir20-virtausmittarilla. Kiintoaineen kertymät olivat huomattavan suuria lähes kaikissa sylintereissä ja nostetuissa koreissa. Nummenpääntien tutkimusalueen alimmasta mädinhaudontakorista löydettiin koria nostettaessa elävä pikkunahkiainen (*Lampetra planeri* Bloch).

Tilastollisina testeinä käytettiin vertailualueiden ja vaikutusalueiden tulosten erojen selvittämiseen Mann-Whitneyn U-testiä, sillä otokset olivat toisistaan riippumattomia ja otoskoko oli pieni eikä normaalijakautunut. Tutkimusalueiden tilastolliseen testaukseen käytettiin sen sijaan Kruskal–Wallis -testiä, jotta voitiin testata useamman kuin kahden riippumattoman otoksen välisen eron merkittävyyttä. Vertailu- ja vaikutusalueiden eroa selviytyvyydessä ajan suhteen testattiin Log-Rank -testillä (Mantel-Cox).

2.4. Vedenlaadun seuranta

Vantaanjoen kipsihankkeen kalastotutkimusten eli sähkökoekalastuksen ja mädinhaudontakokeen taustaksi tutkimusalueiden vedenlaatua seurataan hankkeen ajan tehostetusti. Samalla voidaan arvioida kipsinlevityksen vaikutuksia niin sameuteen, ravinnemääriin kuin sulfaattipitoisuuksiinkin ja huomioida muita muuttuvia vedenlaatutekijöitä tutkimusten aikana. Tätä tutkielmaa varten tutkimusalueiden vedenlaatua seurattiin syksystä 2018 vuoden 2019 loppuun asti.

Vedenlaadun seurannassa käytettiin suurelta osin apuna Lepsämänjoen jatkuvatoimista mittausasemaa ja asemalta otettuja vertailunäytteitä. Näiden perusteella arvioitiin joen sulfaattipitoisuuksia laskemalla vesinäytteiden sulfaattipitoisuuksien ja sähkönjohtavuuksien suhde, jolloin aseman sähkönjohtavuuden avulla voitiin arvioida joen sulfaattiarvoja eri ajanjaksoina. Aikaisempien tutkimusten perusteella mittausaseman mittaama johtokyky vastaa hyvin laboratorioanalyysien tuloksia (Valkama 2019), joten sen

mittausten käyttäminen sulfaattipitoisuuden arvioinnissa ei oletettavasti heikentänyt tarkkuutta.

Lepsämänjoen jatkuvatoiminen mittausasema on mitannut vedenlaatua Lepsämänjoen yläosilla vuodesta 2006. Aseman yhdellä optisella portilla varustettu YSI 600 XLM V2 -sensori mittaa lämpötilaa, johtokykyä sekä happipitoisuutta ja Scan Messtechnikin valmistama spektrofotometriaan perustuva sensorin mittaa sironnan avulla muun muassa nitraattityyppiä ja UV-VIS-sensori sameutta (Valkama 2019). Mittausten avulla voidaan arvioida kiintoaineksen ja fosforin määriä joessa. Virtaama määritetään SonTekin IQ-sensorin mittaaman virtausnopeuden ja pinnankorkeuden mukaan tiedetyn uoman poikkileikkauksen avulla (Valkama 2019). Lepsämänjoen automaattiseurannassa anturit mittaavat vedenlaadun anturipaikalla tunnin välein.

Luhtajoen vedenlaatua tarkkaillaan Vantaanjoen yhteisteistarkkailun näytepisteillä vuosittain. Näiden velvoitetarkkailunäytteiden avulla seurattiin kalastotutkimuksissa myös Luhtajoen vaikutusalueiden vedenlaatua. Seurantaan käytettiin kolmen eri näytepisteen tuloksia ja uusimpia tuloksia verrattiin aikaisempien vuosien tuloksiin. Käytetyt vedenlaadun havaintopaikat olivat L37, L55 ja L57 (Vahtera & Männynsalo 2019). Havaintopaikat L57 ja L55 kuvaavat Luhtajoen yläosan Kyläjoen vedenlaatua ennen aluetta kuormittavan Metsä-Tuomelan jäteaseman ojan liittymäkohtaa ja sen jälkeen, ja L37 sijaitsee Luhtaossa Klaukkalan puhdistamon yläpuolella. Näiden näytteiden tuloksia verrattiin vuosina 2014–2018 samoilta paikoilta otettuihin näytteisiin ja näytteenottohetken pinnankorkeuteen, jota seurataan Uudenmaan ELY-keskuksen Luhtajoen vedenkorkeutta mittaavalta havaintopaikalta (Hagalund 2104700) (SYKE 2019a).

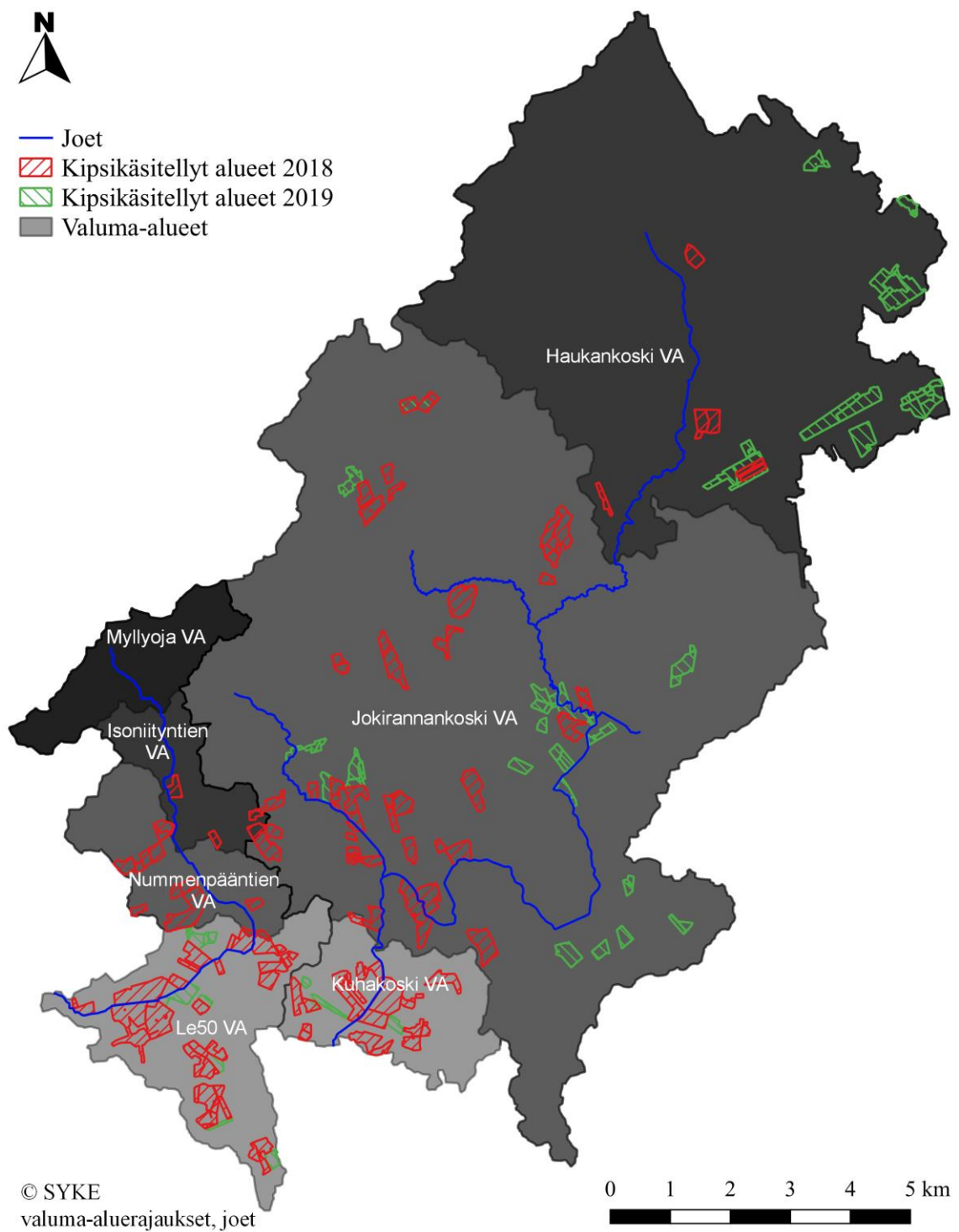
Vedenlaadun seurannan tueksi jokaiselle tutkimusalueelle määritettiin valuma-alueet, peltojen pinta-alojen osuudet sekä valuma-alueilla eri vuosina kipsikäsiteltävien peltolohkojen koot ja osuudet pelloista (taulukko 1, kuva 14). Valuma-aluerajaukset on tehty Suomen ympäristökeskuksen VALUE-työkalulla ja kaikki pinta-alat on laskettu QGIS-paikkatieto-ohjelmistolla käyttäen apuna Maaseutuviraston peltolohkokisteriä (2016). VALUE-työkalun laskemat valuma-alueet lohkovat osan pelloista, mikä ei salaojitusten takia ole kuitenkaan todellinen valumatilanne. Tämä on pyritty huomioimaan taulukon 1. laskelmissa.

Taulukko 1. Tutkimusalueiden ja automaattisen mittausaseman valuma-alueet, peltopinta-alat sekä eri vuosina kipsikäsitelty peltolohkot ja niiden osuudet valuma-alueesta ja peltopinta-alasta.

	Valuma-alue (ha)	Peltopinta-ala (ha)	Peltoprosentti	Kipsikäsiteltyt pellot (ha)			Kipsikäsiteltyt pellot valuma-alueesta (%)			Kipsikäsiteltyt pellot peltopinta-alasta (%)		
				2018	2019	Yhteensä	2018	2019	Yhteensä	2018	2019	Yhteensä
Haukankoski	4 618	1 975	42,8	29	136	164	0,6	2,9	3,6	1,5	6,9	8,3
Jokirannankoski	12 200	4 316	35,4	252	256	508	2,1	2,1	4,2	5,8	5,9	11,8
Kuhakoski	12 891	4 671	36,2	362	270	632	2,8	2,1	4,9	7,8	5,8	13,5
Myllyoja	439	31	7,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Isoniityntien ap.	733	78	10,6	13	0	13	1,8	0	1,8	16,6	0	16,6
Nummenpääntien ap.	1 286	344	26,7	123	0	123	9,6	0	9,6	35,8	0	35,8
Mittausasema Le50	2 281	843	36,9	263	34	297	11,5	1,5	13,0	31,2	4,0	35,2
Molemmat valuma-alueet	15 172	5 513	36,3	625	304	929	4,1	2,0	6,1	11,3	5,5	16,8

Sähkökoekalastusten aikana jokaiselta tutkimusalueelta otettiin vesinäytteet, joista määritettiin sähkönjohtavuus ja sulfaattipitoisuus. Vesinäytteet otettiin myös mädinhaudontakokeen aikana kolmella viimeisellä nostokerralla ja niistä tehtiin samat määritykset kuin koekalastusten aikaan. Näiden lisäksi tutkimusalueilta otettiin VHVSY:n ja Metropolian ammattikorkeakoulun opiskelijoiden toimesta vesinäytteitä syksyllä 2019.

Isoniityntien salaojaputkesta otettiin kalastotutkimusten aikana kaksi vesinäytettä. Näillä näytteillä pyrittiin arvioimaan viereisiltä pelloilta suoraan uomaan mädinhaudontapaikan yläpuolelle tulevan sulfaattivalunnan määrää. Lisäksi Lepsämänjoen yläosan tutkimusalueiden lähellä olevan Nurmijärven jäteveden siirtolinjan pumppaamojen mahdollisten ohituksien ja ylivuotojen varalta seurattiin aktiivisesti Lepsämänjoen automaattiseurannan vedenlaatumittaustuloksia.



Kuva 14. Tutkimusalueiden ja automaattisen mittausaseman valuma-alueet sekä niillä eri vuosina kipsikäsitellyt peltolohkot. Kipsikäsitellyt alueet on sijoitettu karttaan John Nurmisen Säätiöltä saatujen tietojen avulla.

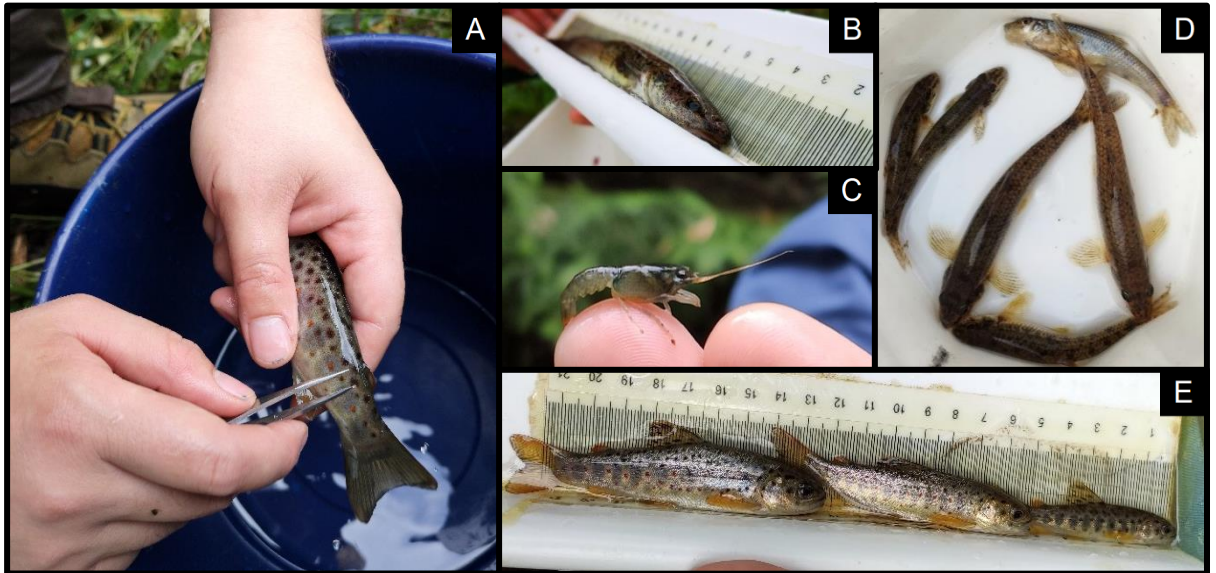
3. Tulokset

3.1. Sähkökoekalastukset

Syyskuun 2018 sähkökoekalastuksissa havaittiin taimenia yhteensä neljällä koealalla, joista kahdella osa taimenista oli kesänvanhoja (0+). Muita havaittuja lajeja olivat kivisimppu, särki (*Rutilus rutilus* L.), made ja törö (*Gobio gobio* L.) (kuva 15). Molemmat vertailualueet olivat kalaindeksin perusteella ekologisen luokituksen vertailuarvoa vastaavassa tilassa eli erinomaisia. Lepsämänjoen vaikutusalueista Isoniitty oli erinomaisessa tilassa ja Nummenpääntie tyydyttävässä tilassa. Luhtajoella kipsikäsittelyn vaikutusalueista Jokirannankoski oli ekologiselta luokituksestaan välttävä ja Kuhakoski hyvä (taulukko 2).

Syksyn 2019 sähkökoekalastuksissa havaittiin taimenia samoilla neljällä koealalla sekä uudella Isoniitun koealalla ja kaikilla näistä havaittiin myös kesänvanhoja (0+) taimenia. Muita saaliiksi saatuja lajeja olivat harjus, kivisimppu, kiiski (*Gymnocephalus cernua* L.), made, salakka (*Alburnus alburnus* L.) ja hauki (*Esox lucius* L.). Kalaindeksin mukaan määritetyt ekologiset luokitukset nousivat Jokirannankoskella luokasta välttävä luokkaan tyydyttävä ja Isoniityntiellä erinomaisesta vielä vertailuarvoa vastaavaan tilaan. Uusi Isoniitun koeala sai kalaindeksin mukaan vertailuarvoa vastaavan luokituksen, eli se oli ekologiselta luokituksestaan erinomainen (taulukko 2).

Luhtajoen koekalastusaloista Koiransuolenojassa sijaitseva Haukankosken vertailuala oli pinta-alaltaan suurin. Vuonna 2018 saaliiksi saatiin yksi made ja yksi törö sekä kahdeksan taimenta. Taimenista vain 25 prosenttia oli kesänvanhoja (0+ -ikäisiä) muiden ollessa 1+ ja 2+ -ikäisiä. Kesänvanhojen osuus seuraavana vuonna oli huomattavasti suurempi, kun koekalastussaaliista jopa 92 prosenttia oli 0+ ikäisiä taimenia. Hieman pienemmältä koealalta saatiin saaliiksi 54 kesänvanhaa ja viisi vuotta vanhempaa taimenta. Laskennallinen taimentiheys kasvoi yksitoistakertaiseksi edellisvuodesta arvoon verrattuna ja oli jopa 68,9 yksilöä aaria kohden. Vanhempien taimenten (>0+) tiheys pysyi liki ennallaan.



Kuva 15. **A)** Isoimmista taimenyksilöistä otettiin suomunäytteet iänmäärittystä varten. **B)** Nummenpääntien koekalastusosalta saatiin saaliiksi mateita molempina vuosina. **C)** Haukankoskella havaittiin useita täplärapuja ja niiden poikasia. **D)** Jokirannankoskelta saatiin saaliiksi runsaasti töröjä molempina vuosina. **E)** Haukankosken saaliissa oli nähtävissä runsaan taimenikäluokan aiheuttamaa pituusvaihtelua kesänvanhoilla poikasilla. (Kuvat A ja B Elias Haro).

Haukankoskelta ei saatu taimenien lisäksi muita kalalajeja vuonna 2019. Molempina vuosina saatiin kuitenkin saaliiksi myös täplärapuja, ja niitä havaittiin runsaasti koekalastusten aikana. Vuoden 2019 koekalastuksessa havaittiin myös useita pieniä ravun poikasia (kuva 15). Koealalle määritetty kalaindeksi oli 0,77 vuonna 2018 ja 0,91 vuonna 2019. Molempien vuosien indeksiarvo on suurempi kuin jokien kalaindeksin vertailuarvo, eli Haukankosken ekologinen tila oli erinomainen molempien vuosien tulosten perusteella.

Luhtajoen ylemmän kipsikäsittelyn vaikutusalan Jokirannankosken koekalastusala käsitti virta-alueen pohjoisuoman, joka koostuu useammasta kynnyksestä. Vuoden 2018 koekalastuksessa saaliiksi saatiin vain seitsemän töröä, ja saman verran töröjä tuli myös seuraavana vuonna. Vuonna 2019 saaliiksi tuli myös 40 senttimetrin pituinen hauki. Hauki saatiin saaliiksi noin puolesta välistä virta-aluetta, kun taas kaikki töröt tulivat viimeisillä koekalastusmetreillä parvena.

Jälkimmäisen vuoden laskennallinen kalatiheys jäi pienemmäksi hieman suuremman koekalastusalan takia, mutta oli käytännössä samaa luokkaa. Jokirannankoskelle laskettu kalaindeksi oli 0,37 vuonna 2018 ja seuraavana vuonna 0,42. Yhden kalan saalismuutos

vuosien välillä nosti tutkimusalueen ekologisen luokituksen välttävästä tilasta tyydyttävään tilaan.

Luhtajoen alempi vaikutusala Kuhakoski on monimuotoinen koskialue, mikä näkyi myös sen koekalastussaaliissa. Vuonna 2018 saaliiksi yksi vanhemman ikäluokan (>1+) taimen, kaksi töröä ja 30 kivisimpua. Vuoden 2019 saalis koostui 64 kivisimpusta, 18 kesänvanhasta (0+) taimenesta sekä yhdestä salakasta ja harjuksesta. Harjus oli pituutensa ja painonsa perusteella samana vuonna syntynyt eli kesänvanha poikanen (0+).

Kuhakosken taimentiheys ja kalatiheys kasvoivat runsaasti vuosien välissä. Laskennallinen taimentiheys jopa 27-kertaistui. Koealalle lasketut kalaindeksit indikoivat molempina vuosina kosken hyvää tilaa. Kalaindeksi oli 0,64 vuonna 2018 ja 0,69 vuonna 2019.

Lepsämänjoen vertailualan Myllyojan molemmissa koekalastuksissa alueelta saatiin saaliiksi vain taimenia. Molempien vuosien koekalastustulokset olivat hyvin samankaltaisia, ja erona olikin oikeastaan vain kesänvanhojen (0+) ja sitä vuoden vanhempien (1+) taimenien suhde saaliista. Vuonna 2018 saaliina oli 7 kesänvanhaa taimenta ja 5 vanhempaa, kun taas seuraavana vuonna luvut olivat 9 ja 2. Prosentuaalinen 0+ -ikäisten osuus siis kasvoi 58 prosentista 82 prosenttiin. Laskennallinen taimentiheys oli molempina vuosina lähellä 35 yksilöä aarilla. Kalaindeksin mukainen ekologinen luokitus oli vertailuarvoa vastaava molempina vuosina arvoilla 0,89 ja 0,90.

Isoniityntien sähkökoekalastusala oli pitkä ja kapea päättyen tierumpuihin. Vuoden 2018 koekalastuksissa saatiin saaliiksi vain kaksi vanhempaa (2+) taimenta laskennallisen tiheyden ollessa vaatimaton 2,4 yksilöä aaria kohden. Seuraavana vuonna tiheys yksitoistakertaistui 15 kesänvanhan (0+) taimenen saaliilla. Koealalle määritetty kalaindeksi nousi arvosta 0,71 arvoon 0,90. Ekologinen luokka pysyi erinomaisena vuoden 2019 arvon ylittäessä vertailuarvon.

Isoniityntien alapuolisen mädinhaudontapaikan virta-alue päätettiin sähkökoekalastaa vuonna 2019, sillä sijaintinsa vuoksi se kuvasi paremmin peltojen kipsinlevitysten vaikutuksia kyseisellä alueella. Aikaisempi Isoniityntien koeala sijaitsi kipsikäsiteltyjen peltojen salaojituksen kokoomaputken yläpuolella, minkä takia koealalle ei kohdistunut samanlaista sulfaattikuormitusta kuin mädinhaudontakokeen korien paikalle. Samalla

haluttiin tutkia luonnollisen lisääntymisen onnistumista korien sijoituspaikalla. Koekalastuksessa saatiin saaliiksi yhdeksän kesänvanhaa taimenta (0+) pieneltä koealalta. Laskennalliseksi tiheydeksi tuli näin ollen jopa yli 43 yksilöä aarille. Määritetty kalaindeksi oli 0,90 ja ekologinen luokka sen mukaan vertailuarvoa vastaava eli erinomainen.

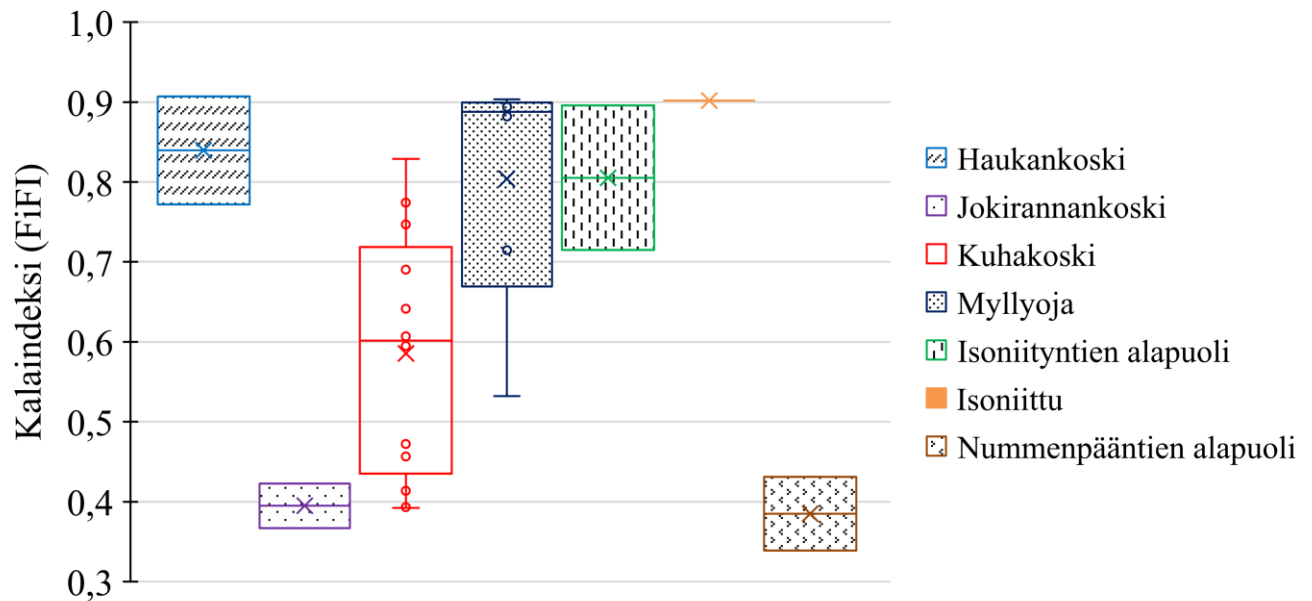
Lepsämäntien alimman vaikutusalueen Nummenpääntien koeala oli molempina vuosina suurelta osin kalaton. Vuonna 2018 saaliiksi saatiin jäteveden siirtoviemäripumppaamon ylivuotouoman yläpuolelta yksi särki ja made. Seuraavana vuonna saaliiksi tuli ylivuotouoman kohdalta yksi kiiski ja sen yläpuolelta kaksi madetta. Yli puolet koekalastusalueesta oli molempina vuosina kalatonta aluetta. Ekologiselta luokaltaan virta-alue sai kuitenkin tyydyttävän tilan luokituksen määritetyn kalaindeksin ollessa 0,34 vuonna 2018 ja 0,43 vuonna 2019.

Taulukko 2. Vantaanjoen kipsihankkeen kalastotutkimusten sähkökoekalastusten tulokset. Tiheydet ovat laskennallisia tiheyksiä, jotka on määritetty eri pyydystettävyyssarvojen perusteella. Ekologinen luokka (huono, välttävä, tyydyttävä, hyvä, erinomainen tila tai vertailuarvo) perustuu vain kalaindeksiin (FiFI) arvoon. Lajiluku on koealan kalalajien määrä.

	Pvm.	Taimentiheys (kpl / 100 m ²)			Kalatiheys (kpl / 100 m ²)	Lajiluku	FiFI	Luokka
		0+	>0+	Kaikki				
Haukankoski	10.9.18	2,1	4,2	6,3	8,3	3	0,77	Erinomainen/VA
	10.9.19	64,9	4,0	68,9	68,9	1	0,91	
Jokirannankoski	10.9.18	0	0	0	22,1	1	0,37	Välttävä
	10.9.19	0	0	0	19,8	2	0,42	Tyydyttävä
Kuhakoski	12.9.18	0	1,2	1,2	89,3	3	0,64	Hyvä
	5.8.19	32,1	0	32,1	224,5	5	0,69	
Myllyoja	10.9.18	23,1	11,0	34,2	34,2	1	0,89	Erinomainen/VA
	10.9.19	31,0	4,6	35,6	35,6	1	0,90	
Isoniityntien ap.	10.9.18	0,0	2,4	2,4	2,4	1	0,71	Erinomainen
	10.9.19	26,8	0	26,8	26,8	1	0,90	Erinomainen/VA
Isoniittu	10.9.19	43,1	0	43,1	43,1	1	0,90	Erinomainen/VA
Nummenpääntien ap.	10.9.18	0	0	0	2,8	2	0,34	Tyydyttävä
	10.9.19	0	0	0	4,8	2	0,43	

Kalaindeksien arvot kasvoivat jokaisella koealalla vuodesta 2018 vuoteen 2019 (taulukko 2). Muutoksissa ei ollut huomattavaa eroa vertailualueiden ja vaikutusalueiden välillä, vaikkakin keskimääräinen indeksin kasvu oli hieman suurempaa vaikutusaloilla. Indeksit kasvoivat 0,4–27,2 %.

Kalaindeksien vaihtelu oli tutkimuksissa kohtuullisen pientä vuosien välillä. Vaikutusalueiden koealoilla indeksin paraneminen oli hieman suurempaa, mutta käytännössä vertailu- ja vaikutusalueilla ei havaittu eroa kalaindeksien muutosta vertaillessa. Aikaisempiin koekalastuksiin verrattuna sekä Myllyojan että Kuhakosken kalaindeksit olivat keskiarvoa parempia (kuva 16).



Kuva 16. Sähkökoekalastuksen koealojen kalaindeksit tutkimusalueittain. Kuhakosken ja Myllyojan koealoilla on otettu huomioon aikaisemmat koekalastukset (Kuhakoski n=13, Myllyoja n=5), joiden indeksit on laskettu ympäristöhallinnon koekalastusrekisteristä ja Vantaanjoen yhteistarkkailun kalastoraporteista kerättyjen saalistietojen perusteella. Muiden alojen indeksit ovat vain tämän tutkimuksen koekalastuksista. Laatikko kuvaa mediaania ja arvoja 25. ja 75. persentiilien välillä sekä tulosten hajontaa. Keskiarvo on kuvattu ristillä ja yksittäiset arvot ympyröillä.

Vantaanjoen kipsihankkeen kalastotutkimusten sähkökoekalastusten tulokset on esitetty tarkemmin koealakohtaisesti liitteissä 1 ja 2. Jokien kalaindeksin vertailuarvot ja luokkarajat on esitetty liitteessä 3.

3.2. Mädinhaudontakoe

Mädinhaudontakokeen sylinterien nostot tehtiin 31.10.2018–25.4.2019 viitenä erillisenä nostokertana (taulukko 3). Kuljetuksen ja käsittelyn aiheuttama mädin kuolevuus arvioitiin nostamalla ensimmäiset mätisylinterit 9.11. ja määrittämällä selviytyvyys eli eloonjäänti. Selviytyvyys oli tutkimusalueilla keskimäärin 89 % vaihteluvälin ollessa 82–94 %. Koealojen välillä tai sisällä ei ollut selkeitä eroja, eikä selviytyvyudessa havaittu yhteyttä kasvaneen kuljetusajan kanssa. Käsittelyn, desinfioinnin ja kuljetuksen aiheuttamaksi kuolleisuudeksi arvioitiin siis 11 prosenttia.

Ensimmäisellä nostokerralla sylintereissä oli kuolleita mätimunia 1–12 kappaletta. Poikkeuksena oli Kuhakosken toisesta korista nostettu sylinteri, jossa oli kuolleita mätijyviä 28 kappaletta (selviytyvyys 44 %). Sylinterin tulosta ei kuitenkaan otettu huomioon kuolleisuuden määrittämisessä, sillä syynä poikkeavalle kuolleisuudelle oli todennäköisesti mädin asettuminen väärin sylinterin sisällä. Kokeen käynnistyksen yhteydessä saman korin sylintereistä yhden todettiin olevan vioittunut, minkä vuoksi sylinterin sisältö jouduttiin kaatamaan uuteen sylinteriin. Tämän seurauksena mätijyvät jäivät todennäköisesti ilman riittävää soran tarjoamaa suojaa, sillä sylinteriä nostettaessa osa mädistä oli soran päällä.

Toisella nostokerralla kuolleiden mätimunien määrä vaihteli sylintereissä 2–17 kappaleen välillä. Tutkimusalueittain selviytyvyys oli keskimäärin 85 % ja vaihteli välillä 73–94 %. Kuhakoskella ja Haukankoskella selviytyvyys jopa parani, kun muilla alueilla se odotetusti heikkeni. Lepsämänjoella Myllyojalla ja Isoniityntien alapuolisella tutkimusalueella kuolleisuus lisääntyi huomattavasti muita alueita enemmän, mutta kokonaisuudessaan ensimmäisen ja toisen nostokerran keskiarvo muuttui vain neljällä prosentilla. Positiivinen muutos kahdella tutkimusalueella selittyy korien sisäisellä satunnaisvaihtelulla.

Kolmannella nostokerralla kuolleiden mätimunien määrä vaihteli sylintereissä 5–26 kappaleen välillä. Tutkimusalueittain selviytyvyys oli keskimäärin 74 % ja vaihteluväli 65–83 %. Kuolleisuus kasvoi jokaisella tutkimusalueella ja oli hyvin tasaista eri vaikutusalueiden välillä, kun taas vertailualueista Haukankoskella oli keskimääräistä parempi ja Myllyojalla keskimääräistä huonompi selviytyvyys.

Neljännellä nostokerralla kaikilta muilta tutkimusalueilta paitsi Haukankoskelta löytyi kuoriutuneita poikasia. Myllyojan ensimmäisistä nostetuista sylintereistä ei löytynyt kuoriutumattomia mätijyviä, joten koreista nostettiin myös toiset sylinterit. Kuolleiden mätimunien määrä vaihteli sylintereissä 7–34 kappaleen välillä. Tutkimusalueittain selviytyvyys kuoriutumiseen asti oli keskimäärin 67 % vaihteluvälin ollessa 58–80 %. Kuoriutuneista poikasista selvästi suurin osa oli elossa kaikilla alueilla (taulukko 4).

Viidennellä nostokerralla yhdeltäkään tutkimusalueelta ei enää löytynyt eläviä kuoriutumattomia mätimunia. Kuolleiden mätimunien määrä vaihteli sylintereissä 4–49 kappaleen välillä. Tutkimusalueittain selviytyvyys kuoriutumiseen asti oli keskimäärin 56 % vaihteluvälin ollessa 24–77 %. Edellisestä nostosta poiketen kuoriutuneiden poikasten selviytyvyys vaihteli suuresti sylinterien välillä. Isoniityntien tutkimusalueella vain 17 prosenttia kuoriutuneista poikasista oli enää elossa, kun taas esimerkiksi Jokirannankoskella jopa 98 % niistä oli eläviä (taulukko 4). Vantaanjoen kipsihankkeen mädinhaudontakokeen tulokset nostokerroittain on esitetty tarkemmin liitteessä 5.

Taulukko 3. Mädinhaudontakokeen selviytyvyysprosentit nostokerroittain. Selviytyminen on laskettu kuoriutumiseen asti, eli sylintereistä löytyneet kuolleet mutta kuoriutuneet poikaset ovat mukana arvoissa kahdella viimeisellä nostokerralla. Näiden nostokertojen elossa olevien prosentuaalinen osuus on ilmoitettu taulukossa 4.

Elossa tai kuoriutunut % (sylinterien keskiarvo)	1 9.11.18	2 31.1.19	3 14.3.19	4 15.4.19	5 25.4.19
Haukankoski	84	88	83	74	76
Jokirannankoski	89	83	71	58	57
Kuhakoski	82	94	74	-	-
Myllyoja	90	73	65	50	35
Isoniityntien alapuoli	94	79	76	79	24
Nummenpääntien alapuoli	90	89	73	80	77
Keskiarvo	89	85	74	67	56

Taulukko 4. Mädinhaudontakokeen kahden viimeisen noston tulokset. Neljännellä nostokerralla 15.4.2019 nostettiin Myllyojan tutkimusalueelta kaksi sylinteriä molemmista koreista ja viimeisellä viidennellä nostokerralla 25.4.2019 vain yhdet. Muilla alueilla toimittiin päinvastoin. Kuhakosken molemmat korit ja Jokirannankosken toinen kori huuhtoutuivat virran mukaan kevättulvassa, joten niistä ei saatu tuloksia. Nummenpääntien tutkimusalueelta yhdestä korista oli nostettu kaksi sylinteriä pois kolmannen ja neljännen nostokerran välissä, minkä takia viimeisellä nostokerralla ei saatu korin tuloksia.

Alue ja kori	Sylinteri	Elossa %		Kuoriutunut %			Kuoriutuneista elossa %			
		15.4.	25.4.2019	15.4.	25.4.2019	15.4.	25.4.2019			
		1.	2.	1.	2.	1.	2.			
		1.	2.	1.	2.	1.	2.			
Haukankoski1		86	52	76	0	66	80	-	79	95
Haukankoski2		62	8	20	0	74	84	-	11	24
Keskiarvo		74	39	0	76	-	51			
Jokirannankoski2		58	20	92	2	22	92	100	91	100
Keskiarvo		58	56	2	57	100	98			
Myllyoja1		32	60	2	32	64	6	100	94	33
Myllyoja2		56	46	62	36	44	64	100	95	97
Keskiarvo		49	32	44	35	97	91			
Isoniityntie1		80	2	8	0	2	28	-	100	29
Isoniityntie2		70	6	0	28	52	14	71	12	0
Keskiarvo		75	4	14	24	71	17			
Nummenpääntie1		62	-	-	12	-	-	0	-	-
Nummenpääntie2		86	80	64	2	88	64	100	91	100
Nummenpääntie3		80	12	76	0	70	86	-	17	88
Keskiarvo		76	58	5	77	86	75			
Korien keskiarvo		65	36	18	56	82	68			

Viimeisten sylinterinnostojen perusteella taimenen mäti kehittyi parhaiten vaikutusalueella Nummenpääntiellä (77 %) ja vertailualueella Haukankoskella (76 %). Vastaavasti huonoimmat tulokset saatiin vaikutusalueelta Isoniityntieltä (24 %) ja vertailualueelta Myllyojasta (35 %). Jokirannankosken vaikutusalueen tulos 57 % oli muiden alueiden väliltä ja lähellä keskimääräistä kuoriutumiseen asti selviytymistä. Kuhakoskelta ei saatu tuloksia (taulukko 3).

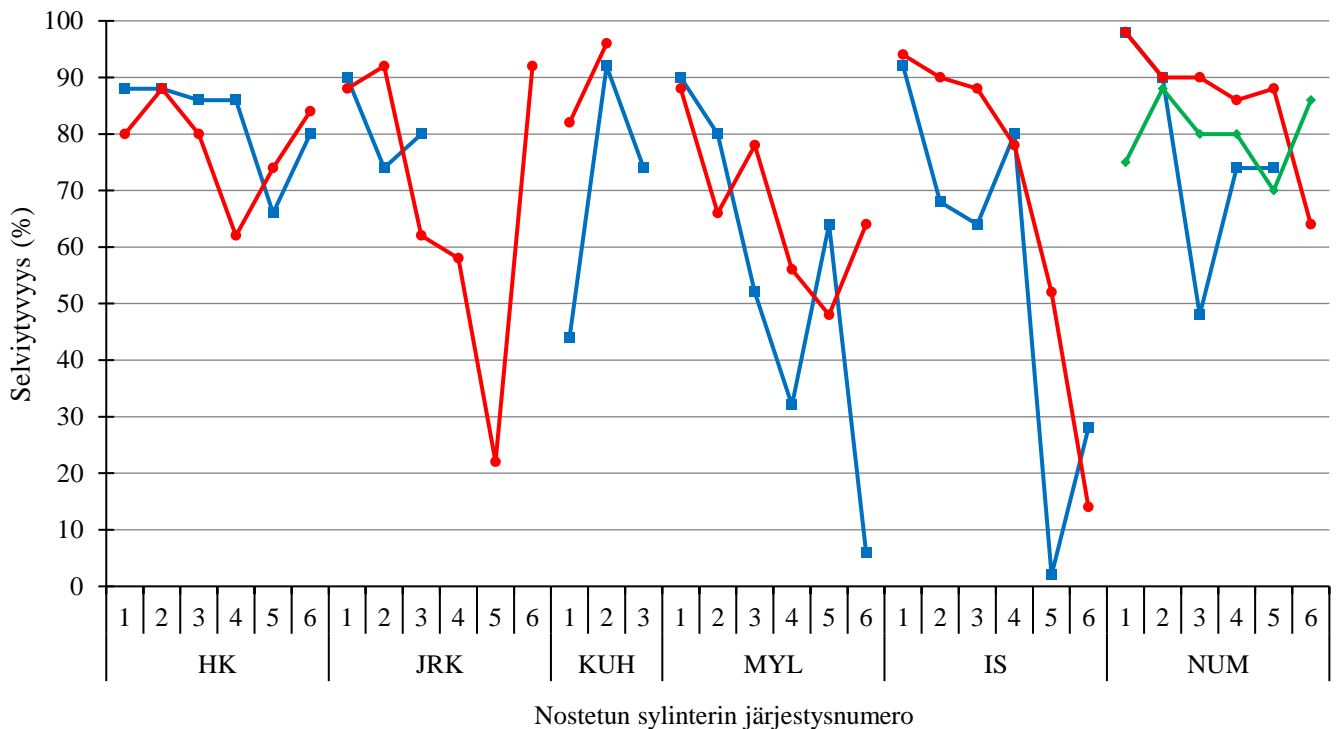
Viimeisten nostojen tulokset olivat hieman erilaiset, kun tarkasteltiin vain taimenen mädin selviytyvyyttä. Parhaiten mäti selviytyi vaikutusalueilla Nummenpääntien tutkimusalueella (58 %) sekä Jokirannankoskella (56 %) ja heikoimmin vaikutusalueella Isoniityntiellä (4 %) ja Myllyojan vertailualueella (32 %). Haukankosken vertailualue oli lähellä keskimääräistä selviytyvyyttä 39 % selviytyvyydellä (taulukko 4).

Vertailu- ja vaikutusalueittain tarkasteltuna selviytyvyys oli hyvin vaihtelevaa (taulukko 5). Kuoriutumiseen saakka selviytyvyys oli vertailualueilla 62 % ja vaikutusalueilla 52 %. Kokonaisselviytyvyys taas oli tasaista vertailualueiden 37 prosentin ja vaikutusalueiden 36 prosentin selviytyvyydellä. Jokikohtaisesti tarkasteltuna Luhtajoessa mädin selviytyminen oli parempaa kuin Lepsämänjoessa niin kokonaisuudessaan kuin kuoriutumiseen asti. Luhtajoessa vertailualueella selviytyminen oli huonompaa kuin vaikutusalueella, mutta kuoriutumiseen asti mäti kehittyi silti paremmin vertailualueella. Lepsämänjoessa selviytyminen oli tasaista sekä vertailualueella että vaikutusalueilla, mutta kuoriutuneita poikasia oli keskimäärin enemmän vaikutusalueilla.

Taulukko 5. Keskimääräiset selviytyvydet alueittain, jokikohtaisesti ja alueittain jokikohtaisesti Vantaanjoen kipsihankkeen mädinhaudontakokeen viimeisen noston tulosten perusteella.

Elossa tai kuoriutunut % (sylinterien keskiarvo)	5. nosto 25.4.2019	
	Elossa	Kuoriutunut
Kaikki	36	54
Vertailualueet	37	62
Vaikutusalueet	36	52
Luhtajoki	45	70
Lepsämänjoki	31	47
Vertailualue Luhtajoki	39	76
Vertailualue Lepsämänjoki	32	35
Vaikutusalue Luhtajoki	56	57
Vaikutusalueet Lepsämänjoki	31	51

Tutkimusalueiden välillä (taulukko 3) ja erityisesti niiden sisällä, korien välillä, oli paljon hajontaa (kuva 17). Vierekkäisten, samantyyppisessä ympäristössä sijaitsevien korien sylinterien tulokset erosivat saman nostokerran tuloksissa jopa useilla kymmenillä. Myös saman korin eri sylinterien tuloksien hajonta oli viimeisellä nostokerralla erittäin suurta. Erityisesti Isoniityntiellä ja Jokirannankoskella vierekkäisten sylinterien selviytyvydet eivät vastanneet toisiansa toivotulla tavalla.



Kuva 17. Mädinhaudontakokeen korien sisäiset selviytyvytydet kuoriutumiseen asti eri sylintereissä. Eri tutkimusalueiden ensimmäiset korit on kuvattu sinisellä, toiset punaisella ja Nummenpääntien kolmas kori vihreällä. Sylinterien numerot eivät viittaa niiden sijaintiin korissa, vaan nostojärjestykseen. Jokirannankoskelta, Kuhakoskelta ja Nummenpääntiellä puuttuvat tulokset johtuvat hävinneistä sylintereistä. Nummenpääntien ensimmäisen korin viidettä nostoa ei huomioitu tuloksissa, sillä sylinteri löytyi korin ulkopuolelta.

Kuolleisuus vaihteli myös korin sisällä paljon, muttei ollut sidoksissa siihen, oliko sylinteri etummaisessa vai takimmaisessa rivissä virtaan nähden. Esimerkiksi Jokirannankosken viimeisellä nostokerralla nostettiin yhdestä korista kaksi sylinteriä, jotka olivat numero 1 ja 3, eli ne sijaitsivat korissa etureunassa kummallakin puolella. Toisessa kokonaiskuolleisuus oli 8 prosenttia ja toisessa jopa 80 prosenttia eli kymmenkertainen. Vastaavasti Isoniityntien viimeisellä nostokerralla nostettiin molemmista koreista yksi sylinteri sekä eturivistä että takarivistä, ja jokaisen sylinterin kokonaiskuolleisuus oli suurta.

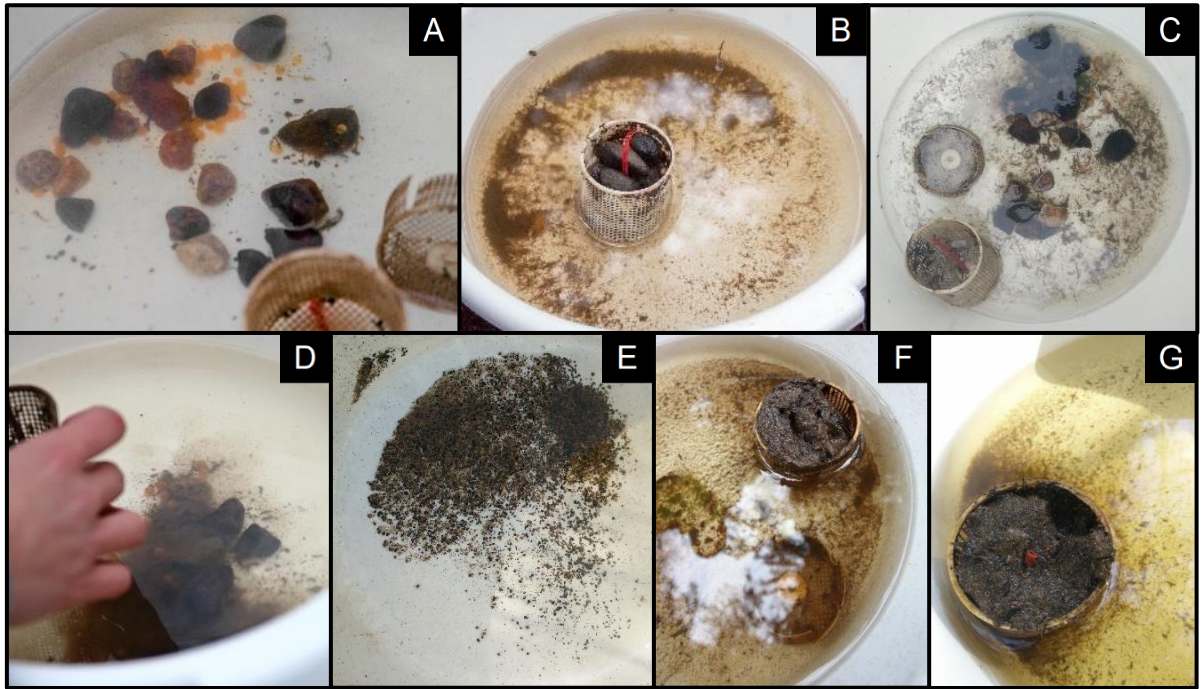
Mädinhaudontakokeen tuloksissa ei ole tilastollisesti merkittävää eroa vertailualueiden ja vaikutusalueiden välillä kuoriutumiseen asti selviytymisessä (Mann-Whitney U-testi, viimeinen nostokerta, $n_1 = 6$, $n_2 = 10$, $p = 0,71$ tai viimeiset kaksi nostokertaa $n_1 = 12$, $n_2 = 16$, $p = 0,60$) eikä vastaavasti kokonaisselviytyvytydessä ($p = 1,00$ ja $p = 0,51$) tai

selviytyvyydessä ajan suhteen (Log Rank -testi [Mantel-Cox], $p = 0,73$). Myöskään tutkimusalueiden välillä ei ollut tilastollisesti merkittäviä eroja selviytyvyydessä tai kuoriutumiseen asti selviytyvyydessä viimeisen nostokerran tulosten perusteella (Kruskal-Wallis -testi, $n = 16$, $p = 0,07$ ja $p = 0,08$). Sen sijaan kahden viimeisen nostokerran tuloksissa eri tutkimusalueiden välillä oli tilastollinen ero kuoriutumiseen asti selviytymisessä ($n = 28$, $p = 0,03$), mutta ei kokonaisselviytymisessä ($p = 0,18$).

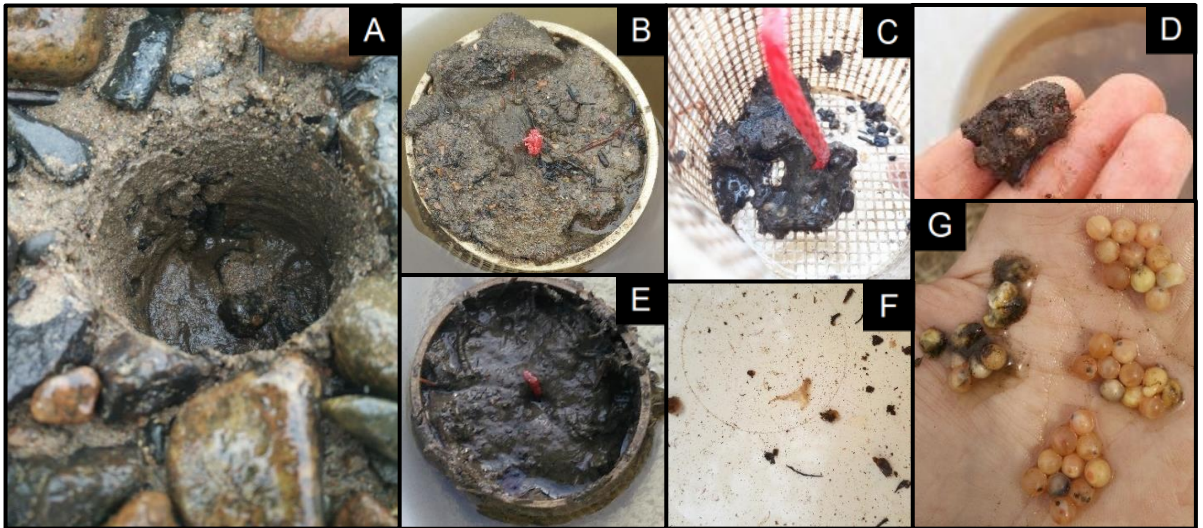
Mädinhaudontakokeessa mitatut virrannopeudet olivat kokeen alussa $0,18\text{--}0,38\text{ m s}^{-1}$, keskiarvon ollessa $0,26\text{ m s}^{-1}$. Kokeen aikana ei saatu mitattua virrannopeuksia kahdelta nostokerralta, jolloin virtaamat olivat pienimmillään. Keskimäärin virrannopeudet olivat ensimmäisellä nostokerralla $0,28$, neljännellä $0,48$ ja viidennellä $0,41\text{ m s}^{-1}$. Keskiarvoa nostaa hieman se, että kolme neljästä pienimmän aloitusvirtausnopeuden korista huuhtoutui pois ennen kahta viimeistä mittausta. Käytettyjen MiniAir20-virtausmittarin ja FlowTrackerin virtausnopeuksien vastaavuutta ei ole tutkittu, mikä heikentää neljännen nostokerran tulosten vertailtavuutta muiden kanssa.

Veden syvyydet korin yläosaan olivat kokeen aloituksessa välillä $7\text{--}40\text{ cm}$ ja kokeen aikana $6\text{--}77\text{ cm}$. Keskimäärin kokeen aikana syvyys oli 25 cm ja vaihteluväli 18 cm . Suurin vaihteluväli oli Isoniityntiellä ja pienin Jokirannankoskella.

Kiintoaineen kertymistä seurattiin kokeen aikana, ja se oli huomattavaa jokaisella tutkimusalueella (kuva 18 ja 19). Kiintoainemäärät kasvoivat jokaisella nostokerralla, mutta eroja tutkimusalueiden välillä havaittiin kuitenkin jo ensimmäisistä nostoista lähtien (kuva 18AB). Suurinta kiintoaineen kertyminen oli Myllyojalla ja Isoniityntien tutkimusalueella, jossa hiekan osuus sylinteristä oli varsinkin viimeisellä nostokerralla suuri. Molemmilla paikoilla myös mädinhaudontakori oli täytynyt hiekalla (kuva 19A). Haukankoskella kiintoaines koostui viimeisellä nostokerralla pääasiassa orgaanisesta aineesta (kuva 19E). Luhtajoen sylintereissä kiintoainesta oli keskimäärin vähemmän kuin Lepsämänjoen sylintereissä. Kiintoaineen määriä arvioitiin kokeen aikana vain silmämääräisesti.



Kuva 18. Kiintoaineen kertyminen mädinhaudontakokeessa. **A)** Haukankoski 1. nostokerralla. **B)** Myllyoja 1. nostokerralla. **C)** Haukankoski 2. nostokerralla. **D)** Jokirannankoski 3. nostokerralla. **E)** Jokirannankosken 5. nostokerralla vatiin sylinterin huuhtelusta kertynyttä hiekkaa. **F)** ja **G)** Myllyojan sylinterit 3. ja 4. nostokerralla. (Kuvat A ja B Oula Tolvanen, D ja F Pasi Valkama).



Kuva 19. Kiintoaineen kertyminen ja sen vaikutuksia viimeisellä nostokerralla. **A)** ja **B)** Isoniityntien kori ja sylinteri 5. nostokerralla. **C)** ja **D)** Monessa sylinterissä kuolleet mätimunat kasautuivat sylinterien pohjalle kiintoaineen kanssa. **E)** Haukankoski 5. nostokerralla. **F)** Myllyojan sylinterien kuolleet kuoriutuneet poikaset olivat jo pitkälle hajonneita. **G)** Isoniityntien tutkimusalueen alkiot olivat kehittyneet pitkälle, mutta jäivät kuoriutumatta todennäköisesti kiintoaineen kertymän takia. Alkioiden sylinteri nostettiin kuvan A korista. (Kuvat C, D ja E Oula Tolvanen).

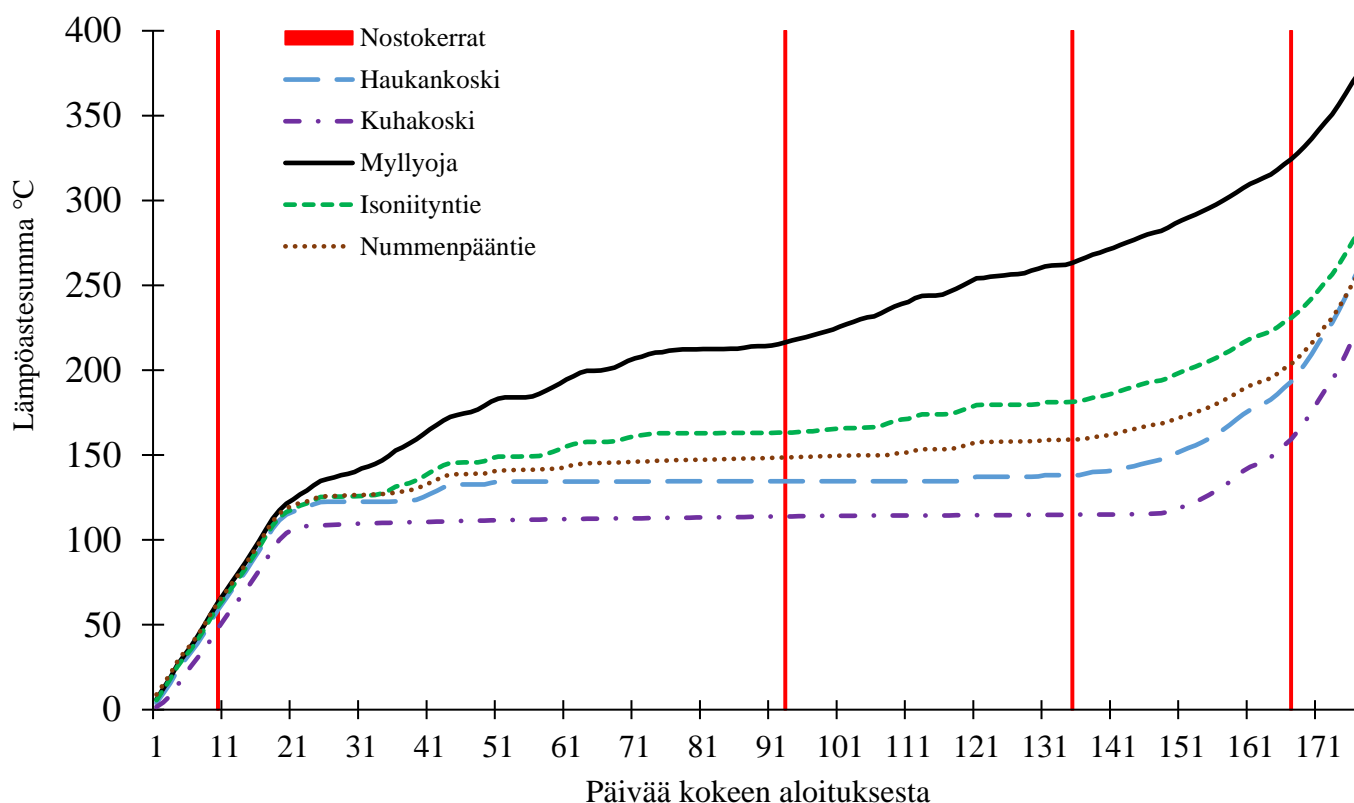
Tutkimusalueiden veden lämpötilaseuranta onnistui Jokirannankosken tutkimusalueelta lukuun ottamatta, missä lämpötilaloggeri katosi korin mukana kokeen aikana. Lämpötiladatan perusteella voitiin sulkea pois mädin jäätyminen mahdollisuus ja laskea päivittäisen lämpötilakeskiarvon mukaan päiväastekertymät tutkimusalueille. Pienimmät mitatut lämpötilat olivat -0,052 astetta, mikä ei ole lämpötilaloggerin mittaustarkkuuden ($\pm 0,21$ °C) huomioiden selviytymiseen vaikuttava lämpötila. Vastaavasti suurimmat mitatut lämpötilat olivat syksyllä hieman yli seitsemän astetta ja keväällä suurimmillaan noin yksitoista astetta hetkittäin kokeen viimeisinä päivinä. Päivän lämpötilakeskiarvo ei kokeen aikana kertaankaan ylittänyt yhdeksää astetta.

Terminen talvi alkoi vuonna 2018 marraskuun puolivälin jälkeen keskimääräiseen aikaan ja kevät vastaavasti maaliskuun puolivälissä lähes kaksi viikkoa tavanomaista aikaisemmin (Ilmatieteen laitos 2020). Nurmijärven alueella joki jäätyn ensimmäisen kerran joulukuussa. Talvi oli luminen, ja kevättulva alkoi maaliskuun puolivälissä. Myös helmi–maaliskuussa joen virtaama kasvoi talvitulvatilanteessa (JNS ym. 2019a).

Mädinhaudontakokeessa kertyneissä päiväasteissa oli suuria eroja tutkimusalueiden välillä (kuva 20). Ensimmäisten kolmen viikon jälkeen Myllyojan pohjaveden vaikutus alkoi näkyä, ja Lepsämänjoen veden lämpötila oli korkeampi kuin Luhtajoessa. Päiväasteet nousivat hiljalleen talvenkin aikana Lepsämänjoessa, kun taas Luhtajoessa päiväastekertyminen oli liki olematonta neljän kuukauden ajan. Esimerkiksi toisen ja kolmannen nostokerran välillä Kuhakosken päiväastekertymä oli noin yksi aste, kun taas Myllyojalla se oli jopa 47 astetta ja Nummenpääntielläkin lähes yksitoista astetta. Kuhakoskella päiväastekertyminen oli hitainta jokaisella aikavälillä viimeistä kahta viikkoa lukuun ottamatta.

Keväällä veden lämpötilat nousivat Luhtajoessa paljon nopeammin kuin Lepsämänjoen yläosissa. Kolmannen ja neljännen nostokerran välissä Haukankosken päiväastekertymä kasvoi enemmän kuin Isoniityntiellä ja Nummenpääntiellä. Neljännen ja viidennen nostokerran välissä Luhtajoen lämpötilat nousivat 10–16 astetta enemmän kuin Lepsämänjoen tutkimusalueilla. Kokonaisuudessaan lämpösumma oli suurin Myllyojalla, 376 astetta 177 päivän aikana. Tämän jälkeen suurin päiväastekertymä oli sen alapuolisella

Isoniityntiellä, ja sen jälkeen Haukankoskella ja Nummenpääntiellä. Pienin päiväastekertymä mitattiin Kuhakoskella, vain 216 astetta.



Kuva 20. Mädinhaudontakokeen päiväastekertymät eri tutkimusalueilla kokeen aloituksesta kokeen päättymiseen asti (31.10.2018–25.04.2019). Kuhakosken HOBO-mittari lähti korin mukana liikkeelle 10.04. eikä mitannut enää veden lämpötilaa, minkä takia viimeiset 15 päivää on arvioitu Haukankosken lämpötiloja vastaaviksi.

3.3. Vedenlaatu kalastotutkimusten aikana

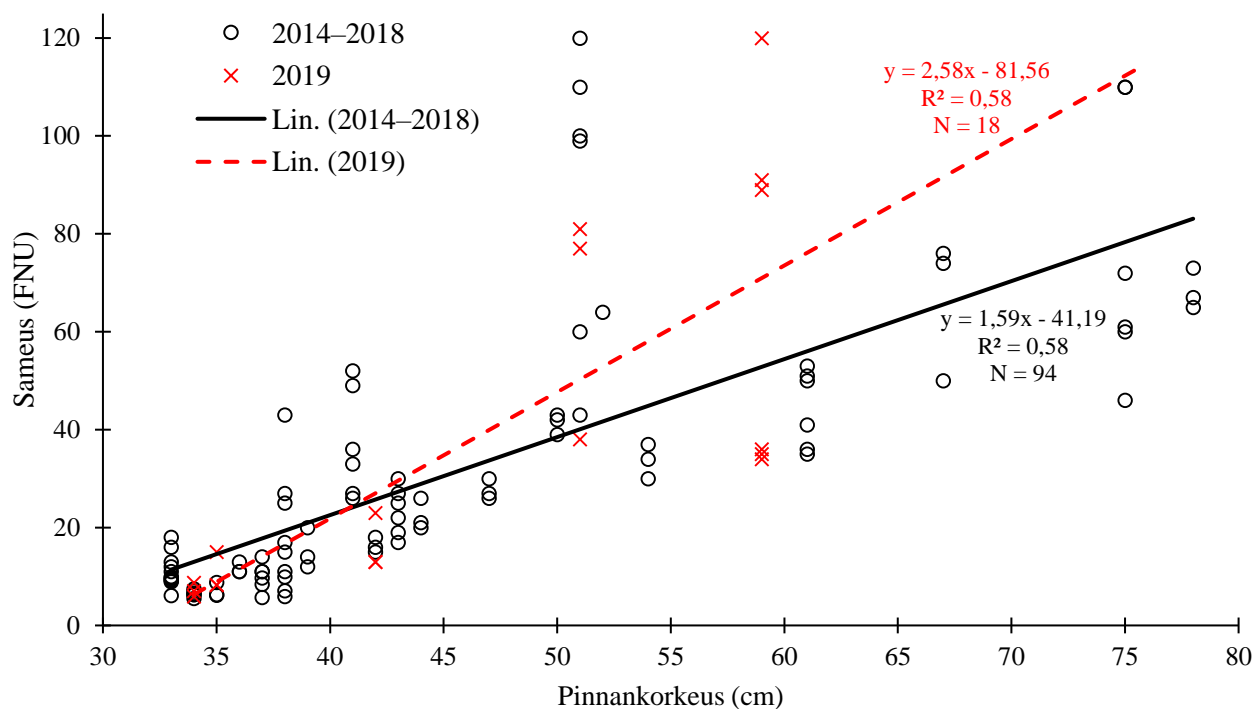
Vantaanjoen kipsihankkeen vesistöseurannan alustavat tulokset kattoivat kasvukauden ulkopuolisen jakson lokakuusta 2018 huhtikuuhun 2019. Tulosten perusteella Lepsämänjoen sameus laski kipsinlevityksen jälkeen 21–57 prosenttia vuosiin 2014–2018 verrattuna. Keskimääräinen lasku oli 41 prosenttia (JNS ym. 2019b). Alustavien tulosten mukaan kasvukauden ulkopuolella kipsi nosti jokiveden johtokykyä ja laski partikkelimaisen fosforin pitoisuutta. Liukoissa fosforissa (DRP) ei havaittu muutosta. Tulosten perusteella todettiin peltojen kipsikäsittelyn edelleen vähentävän eroosiota ja fosforin huuhtoutumista

myös niillä alueilla, joilla käytetään muitakin eroosiota torjuvia vesiensuojelukeinoja, kuten talviaikaista kasvipeitteisyyttä (JNS ym. 2019a).

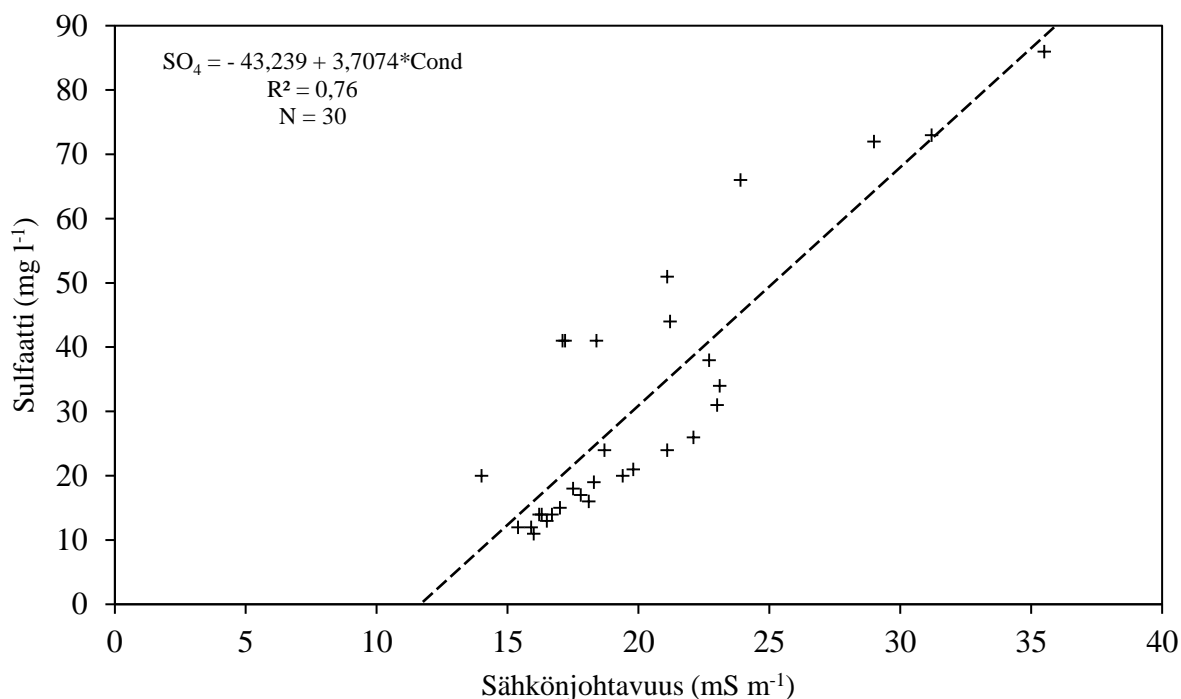
Lepsämänjoen jatkuvatoimisesta mittarin mittaamasta sähkönjohtavuudesta saatiin arvioitua kuukausittaisina keskiarvoina noin kahden mittayksikön (mS m^{-1}) lisäys, kun tarkasteltiin vuotuista keskiarvoa vuodelta 2019 ja verrattiin sitä edeltävien viiden vuoden keskimääräiseen arvoon. Mädinhaudontakokeen aikana veden happipitoisuus vaihteli välillä 9,6–13,0 mg l^{-1} .

Luhtajoen vedenlaadunseurannassa otettiin Vantaanjoen yhteisteistarkkailun näytepisteiltä L37, L55 ja L57 jokaiselta näytteet kuutena samana päivänä vuonna 2019. Vuoden 2018 näytteet otettiin pääasiassa jo ennen kipsinlevityksiä. Eri näytteenottopisteiden tulokset olivat hyvin samanlaiset. Aikaisempiin vuosiin verrattuna Luhtajoen vuoden 2019 vedenlaatu pysyi samankaltaisena. Fosfaattifosforia oli näytteissä keskimäärin vähemmän aikaisempien vuosien keskiarvoon verrattuna, mutta mikäli vuoden 2017 tuloksia ei huomioida tai tarkastellaan eri vuosien hajontaa, niin fosfaattifosforin määrä oli liki samalla tasolla kuin aikaisempinakin vuosina. Sähkönjohtavuus kasvoi Luhtaajoessa Lepsämänjoen tapaan noin kaksi yksikköä, mutta Lepsämänjoesta poiketen myös sameus vaikutti kasvaneen (kuva 21). Näytteiden vähyyden takia tuloksia voidaan kuitenkin pitää epävarmoina. Luhtajoen eri vuosien vesinäytteiden kootut tulokset ovat liitteessä 4.

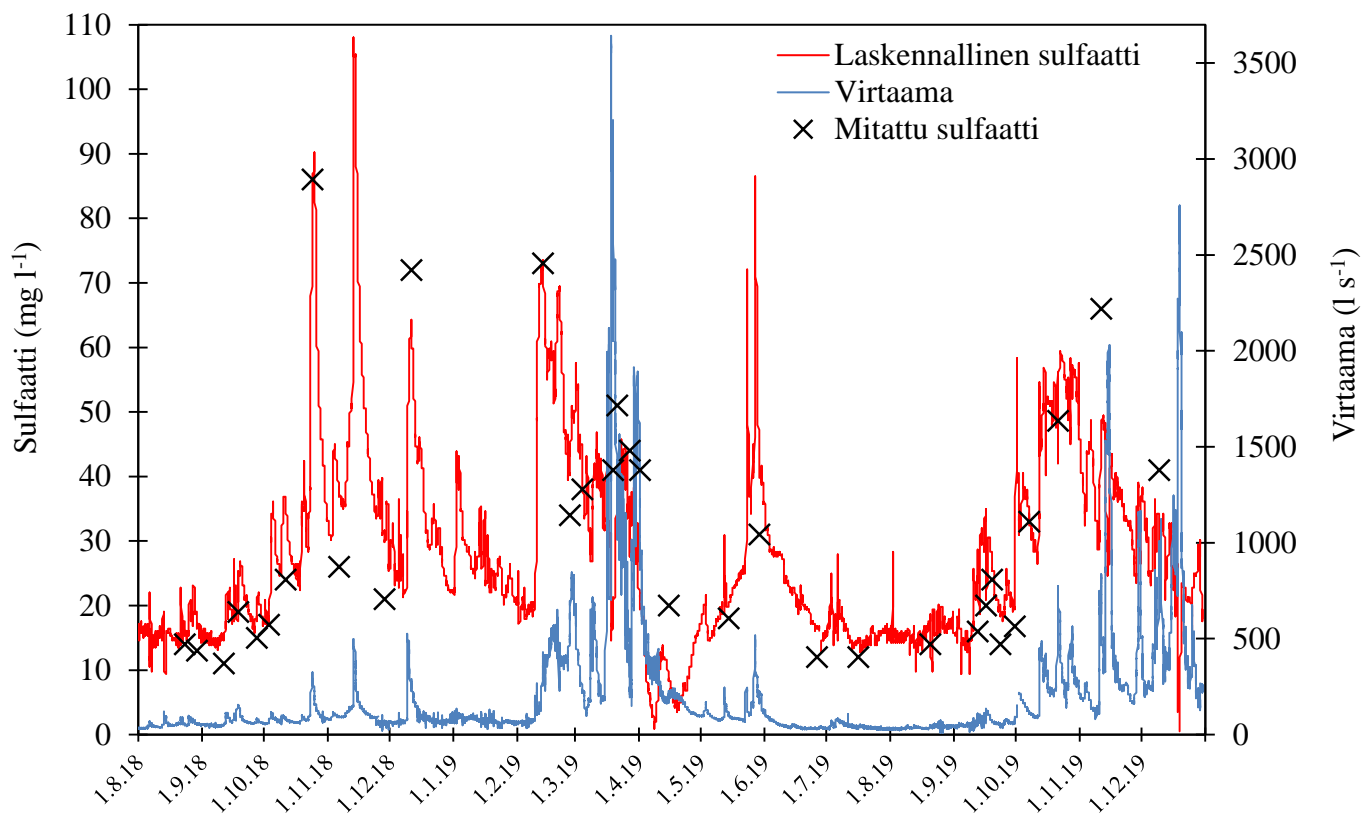
Jokivesien sulfaattipitoisuuksia mitattiin eri näytteenottokerroilla, ja Lepsämänjoen mittausaseman vertailunäytteenottojen perusteella arvioitiin sähkönjohtavuuden ja sulfaattipitoisuuden suhde Lepsämänjoessa. Yksinkertaisuuden vuoksi suhde arvioitiin näiden kahden muuttujan suhteen lineaariseksi (kuva 22). Kaavalla arvioitiin Lepsämänjoen sulfaattipitoisuudet kalastotutkimusten ajalta, jolloin sulfaattipitoisuus oli suurimmillaan noin 107 mg l^{-1} ensimmäisen vuoden kipsinlevitysten jälkeen valunnan voimistuessa (kuva 23). Suurin mitattu sulfaattipitoisuus oli 86 mg l^{-1} Lepsämänjoen mittausaseman vertailunäytteenotossa 24.10.2018 (kuva 23). Kaikki kokeen aikaiset sulfaattipiikit olivat lyhytkestoisia eivätkä korreloineet virtaamapiikkien voimakkuuksien kanssa eri aikoina.



Kuva 21. Luhtajoen sameuden ja vedenkorkeuden suhde eri ajanjaksoina. Vuonna 2019 sameus oli keskimäärin suurempaa kuin aikaisempina vuosina. Tarkastelussa on käytetty näytenpisteiden L37, L55 ja L57 sameustuloksia sekä Luhtajoen vedenkorkeuden anturin mittauksia.



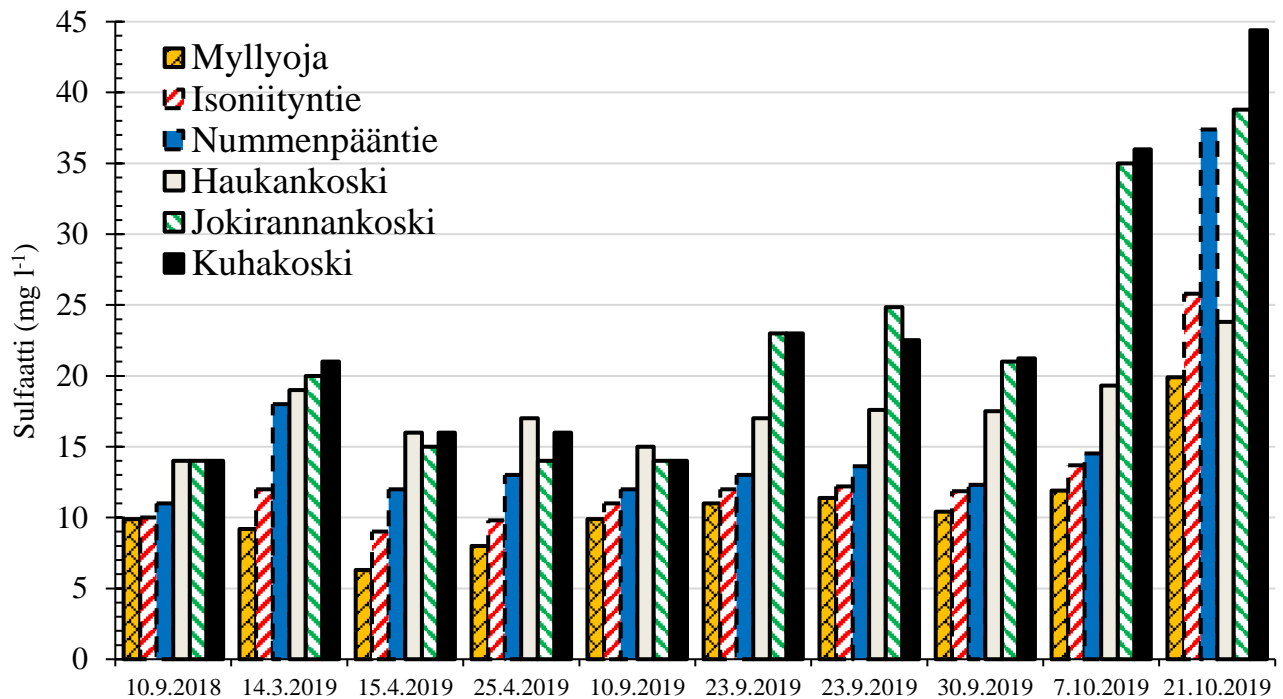
Kuva 22. Sulfaattiarvojen laskemiseen sähkönjohtavuudesta käytetty kaava määritettiin Lepsämänjoen vertailunäytteiden (näytteenottopiste Le50) avulla.



Kuva 23. Laskennalliset sulfaattipitoisuudet, virtaama ja mitatut sulfaattipitoisuudet Lepsämänsaaren mittausasemalla hankkeen kalastotutkimusten aikana.

Luhtajoen sulfaattipitoisuuksia arvioitiin samalla kaavalla (kuva 22) kuin Lepsämänsaaren pitoisuuksia, sillä Luhtajoen sulfaattinäyttemäärä jäi niin pieneksi, ettei sulfaattipitoisuuden ja sähkönjohtavuuden suhdetta voitu luotettavasti arvioida. Lepsämänsaarelle lasketun kaavan ja Luhtajoen näytteiden perusteella voidaan arvioida suurimmaksi sulfaattipitoisuudeksi noin 49 mg l^{-1} 16.10.2018 mitatun sähkönjohtavuuden perusteella. Varsinaisista vesinäytteiden sulfaattimäärityksistä Luhtajoen suurin mitattu sulfaattipitoisuus oli Metropolian opiskelijoiden syksyn 2019 mittauksissa 44 mg l^{-1} Kuhakoskelta 21.10.2019 (kuva 24). Ennen näytteenottoa vuoden 2019 kipsit oli jo levitetty valuma-alueen pelloille.

Vesinäytteiden perusteella Lepsämänsaaren sulfaattipitoisuudet ovat matalammat kuin Luhtajoen (kuva 24). Vain yhdellä näytteenottokerralla Lepsämänsaaren vaikutusalueella oli korkeampi sulfaattipitoisuus kuin Luhtajoen vertailualueella. Ensimmäisten sähkökoekalastusten aikaan eri alueiden sulfaattipitoisuudet olivat lähes täysin samat, mutta kipsinlevitysten jälkeen vertailu- ja vaikutusalueiden välillä oli huomattavissa eroja.



Kuva 24. Tutkimusalueiden sulfaattipitoisuudet eri näytteenottokerroilla kalastotutkimusten aikana.

Mitatut sulfaattipitoisuudet vaihtelivat Lepsämänjoella välillä 6–37 ja Luhtajoella välillä 11–44 mg l⁻¹. Vertailualueilla Myllyojalla pitoisuus vaihteli välillä 6–20 ja Haukankoskella 14–24, kun taas vaikutusalueilla sulfaattipitoisuudet olivat Isoniityntiellä 9–26, Nummenpääntiellä 11–37, Jokirannankoskella 14–39 ja Kuhakoskella välillä 14–44 mg l⁻¹ (kuva 24).

Lepsämänjoen yläosan tutkimusalueiden lähellä olevan Nurmijärven jäteveden siirtolinjan pumppaamojen ohituksia ja ylivuotoja ei tapahtunut kalastotutkimusten seurantajaksolla sähkökoekalastusten välillä 10.9.2018–10.9.2019 (Männynsalo 2019/tiedoksianto). Myöskään Luhtajoella ei tullut ilmi jätevesipäästöjä seurantajaksolla. Ennen tutkimuksia Röykan pumppaamolta tuli kuitenkin 5.7.2018 noin 150 kuutiota ohituksena Myllyojaan voimakkaan ukkossateen seurauksena ja Koiransuolenojan valuma-alueella 6.9.2018 noin 300 kuutiota jätevettä maastoon Rajamäellä paineviemärin rikkoutumisen takia (Männynsalo 2019).

4. Tulosten tarkastelu

4.1. Sähkökoekalastukset

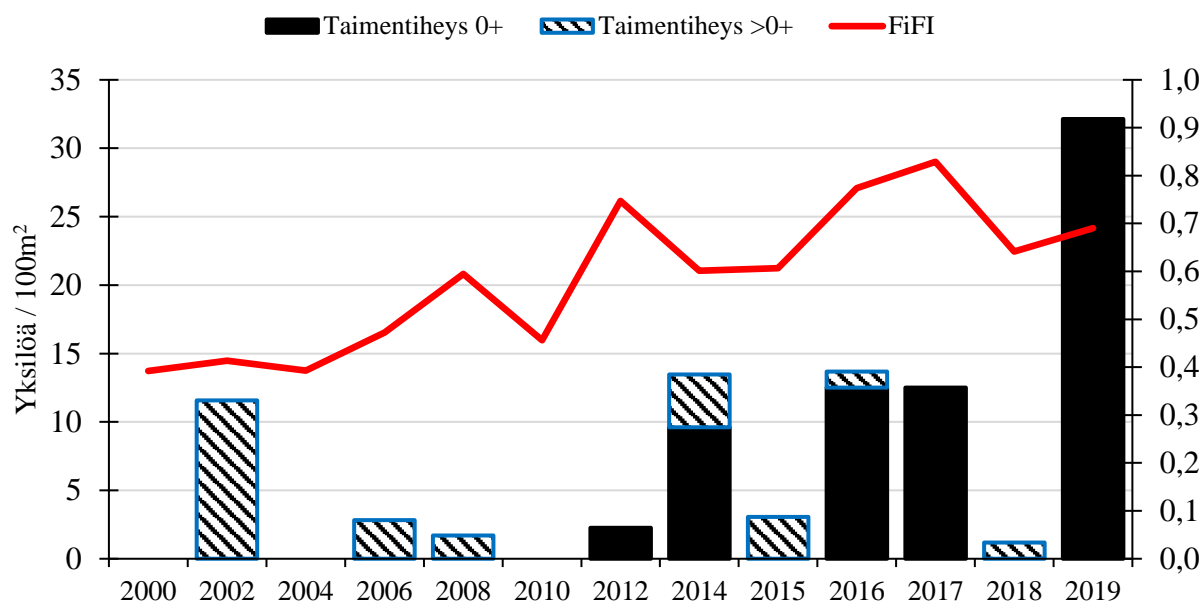
Vantaanjoen kipsihankkeen sähkökoekalastuksissa taimenia tavattiin molempina vuosina neljällä alueella kuudesta, eikä niitä saatu saaliiksi vain Nummenpääntiellä tai Jokirannankoskella. Kipsikäsiteltyjen peltojen vaikutusalueella tapahtui taimenten lisääntymistä ja lajimäärät ja tiheydet nousivat jälkimmäisenä vuotena. Koekalastusten tuloksiin vaikuttaa erityisesti virta-alueen ominaispiirteet, joten tulosten vertailu toisiin alueisiin tai jokiin on hankalaa. Kuhakosken ja Myllyojan koekalastusten tuloksia voidaan kuitenkin verrata aikaisempiin koekalastuksiin kyseisillä alueilla (kuva 25 ja 26).

Kuhakoskella kesänvanhojen taimenten tiheys oli vuonna 2019 selvästi 2000-luvun sähkökoekalastusten suurin. Vuonna 2018 taimentiheys oli taas selvästi tavallista matalampi. Kuhakoskelle laskettu kalaindeksi on kasvanut selvästi vuosituhatlukuun alun lukemista, mutta ei ollut hankkeen sähkökoekalastuksissa sillä tasolla kuin ennen hanketta. Vuoden 2019 koekalastuksen perusteella kipsikäsitellyllä ei ollut heikentäviä vaikutuksia kalastoon Kuhakoskella.

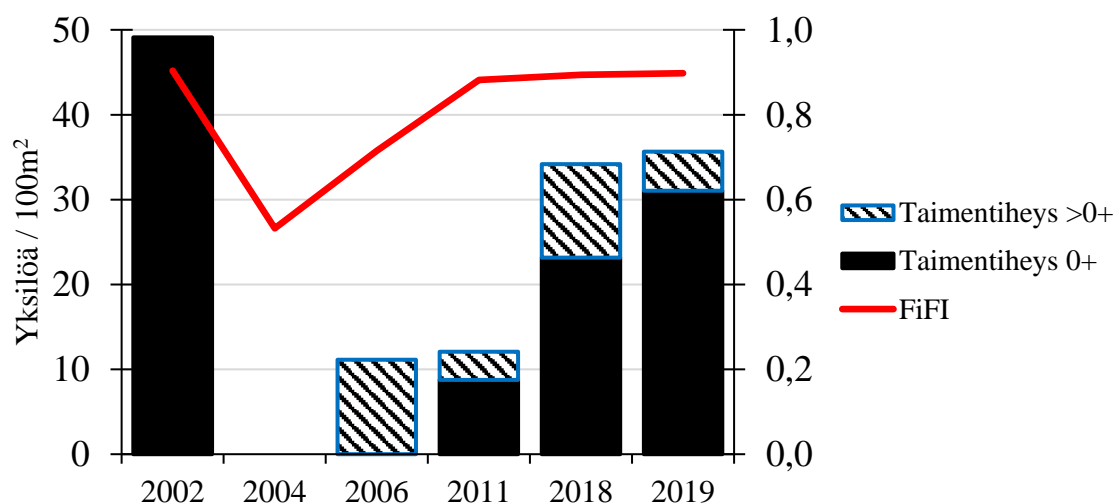
Myllyojan koekalastusalueella taimentiheydet olivat hankkeen koekalastuksissa molempina vuosina hyvin samankaltaiset, vaikkakin jälkimmäisenä vuotena kesänvanhojen taimenten osuus kokonaissaaliista oli suurempi. Kalaindeksi pysyi erinomaisella tasolla. Viimeisimpiin koekalastuksiin verrattuna virta-alueella on tapahtunut muutosta parempaan suuntaan, mikä selittyy jätevedenpuhdistamon poistumisella alueelta. Hankkeen koekalastusten tulokset ovat Vantaanjoen valuma-alueen tasolla hyvät, mutta eivät kerro vuosien välisistä eroista, joten niitä ei voi vertailla vaikutusalueiden muutoksiin.

Taimenen kesänvanhojen poikasten tiheydet kasvoivat Vantaanjoen vesistöalueen kalastotarkkailun tulosten mukaan kaikilla vesistön eri osa-alueilla vuonna 2019 (Haikonen ym. 2020). Tämä tarkoittaa, että lisääntyminen on onnistunut hyvin syksyllä 2018, eikä taimentiheyksien kasvu kipsihankkeen koekaloilla ole poikkeuksellista. On mahdollista, että peltojen kipsikäsitelystä johtuen kiintoaineskuorma on ollut vähäisempi ja edesauttanut

taimementen lisääntymistä tietyillä alueilla, mutta todennäköisemmin syynä olivat vain sopivat sääolot vuosien 2018 ja 2019 välillä.



Kuva 25. Kuhakosken koekalastusalan laskennalliset taimentiheydet ja kalaindeksi 2000-luvulla. Laskennassa käytetyt saalistiedot aikaisemmilta vuosilta on kerätty ympäristöhallinnon koekalastusrekisteristä sekä Vantaanjoen yhteistarkkailun kalastoraporteista.



Kuva 26. Myllyojan koekalastusalan laskennalliset taimentiheydet ja kalaindeksi eri vuosina. Laskennassa käytetyt saalistiedot aikaisemmilta vuosilta on kerätty ympäristöhallinnon koekalastusrekisteristä.

Vantaanjoen kipsihanketta edeltäneessä SAVE-hankkeessa sähkökoekalastukset toteutettiin Suomen ympäristökeskuksen toimesta lokakuussa 2017 neljällä koealalla, joista kolme vaikutusalueella sijainnutta oli koekalastettu aiemminkin (Turunen 2017). Koekalastusolosuhteet eivät olleet optimaaliset vedenkorkeuden ja viilenneen veden lämpötilan takia, mikä vaikutti todennäköisesti saaliisiin. Yhdeltä alueelta saatiin yksi taimenen kesänvanha poikanen, mikä kertoi alueella tapahtuneesta luonnollisesta lisääntymisestä. Hankkeen koekalastusten saalista verrattiin aikaisempiin 4–5 vuoden takaisiin koekalastuksiin. Lajimäärät, särkikalajien määrät sekä kalojen tiheydet kivisimppuja lukuun ottamatta olivat pienempiä, mutta koekalastusten olosuhteiden ja mitattujen matalien sulfaattipitoisuuksien valossa todettiin kuitenkin, ettei kipsinlevitys näyttänyt vaikuttavan merkittävästi kaloihin (Turunen 2017).

Vantaanjoen kipsihankkeessa sähkökoekalastusten perusteella voidaan tätä varmemmin todeta, ettei kipsinlevitys näytä vaikuttavan merkittävästi kaloihin. Tavallisesti vedenlaadun muutokset voidaan havaita sähkökoekalastusten perusteella taimenmäärissä, sillä taimen reagoi herkästi vedenlaadun muutoksiin (Sutela ym. 2010). Tulosten perusteella ei havaittu peltojen kipsikäsittelyllä olevan negatiivisia vaikutuksia. Positiivisiakaan vaikutuksia ei voitu todeta, kun otetaan huomioon vuosien välinen luonnollinen vaihtelu ja koekalastustilanteiden sisäiset saalisvaihtelut. Tulosten luotettavuus paranee, kun koealat kalastetaan kolmannen kerran hankkeen puitteissa syksyllä 2020.

Sähkökoekalastukset sujuivat suurelta osin ongelmitta, mutta tulosten mielekkyyteen vaikuttaa koealojen pienenä, mikä osaltaan johtuu virta-alueiden pienestä koosta. Ohjeiden mukaisilla suurilla, eli noin 200–300 neliömetrin kokoisilla koealoilla olisi voitu saada kattavampi otos kalastosta, jossa yksittäisen yksilön merkitsevyys ei olisi ollut niin suuri. Nyt saaliiden ollessa pieniä varsinkin osalla koealoista yksittäisen kalan vaikutus oli poikkeuksellisen suuri. Lisäksi Kala- ja vesitutkimus Oy:n tekemä Kuhakosken sähkökoekalastus vuonna 2019 tehtiin niin aikaisin, että sen vertailtavuus edelliseen vuoteen on heikompaa erilaisten olosuhteiden takia.

Paikkojen vertailtavuus toisiinsa oli myös hankalaa. Hankkeen tutkimuksissa huomattiin esimerkiksi, että Myllyojalla kesänvanhojen taimenten keskipituus oli kahden kalastuksen perusteella 67 millimetriä ja keskipaino 3,2 grammaa, kun Haukankoskella vastaavasti luvut olivat 85 millimetriä ja 6,0 grammaa. Haukankoskella vaihtelu oli myös huomattavasti

suurempaa, ja suurimmat kesänvanhat poikaset olivat yli 10 millimetriä pitkiä ja 11 grammaa painavia. Tämä kertoo erilaisista ympäristöoloista ja ravinnon saatavuudesta. Myös Myllyojan alapuoliselta Isoniityntien koealalta löytyi huomattavasti Myllyojan taimenia suuremmat kesänvanhat poikaset niiden keskimääräisen painon ollessa jopa yli viisi grammaa enemmän. Myllyojan tutkimusalue poikkesi siis koekalastustenkin perusteella paljon muista.

Pyydystettävyyssarvoja käytettiin koekalastusten tiheyksien laskemisessa, sillä niillä voidaan huomioida yhdessä koekalastuspyynnissä kalamäärä, jota ei tietyistä syistä saada saaliiksi (Degerman & Sers 2001). Näiden arvojen käyttäminen pienissä uomissa on kuitenkin hieman kyseenalaista, kun vettä on vähän, veden näkösyvyys on hyvä, uoma on kapea ja virtaus maltillista. Tällöin kalastettavuus on liki erinomaista, ja kaikki koealalla olleet kalat saadaan hyvin houkuteltua, tainnutettua ja haavittua. Saaliiksi tulevat siis likimain kaikki paitsi koealan yläpuolelle karkottuneet yksilöt. Lepsämänjoen tutkimusalueilla oli liki tällaiset olosuhteet, mutta ylemmillä koealoilla taimenia kuitenkin karkasi ja piiloutui rantapenkkaan niin paljon, että pyydystettävyyssarvoja käytettiin. Hankkeen koekalastuksista vain Nummenpääntien koealalla ei havaittu saaliin karkaamisia.

Jokikalaindeksiä käytettiin osana alueiden vertailua, koska se kertoo niiden ekologisesta tilasta ja antaa arvon, jonka muuttumista voidaan tarkkailla eri vuosien välillä (Aroviita ym. 2019). Indeks ei kuitenkaan ota huomioon esimerkiksi pyydystettävyyttä ja on huono mittari yhden virta-alueen tilan määrittämiseen, koska alan pitäisi olla riittävän suuri ja edustava, mihin harvoin päästään. Lisäksi jokikalaindeksiin vaikuttaa suuresti yksittäinen saaliiksi tuleva kalayksilö, jos se on särkikala tai kuuluu tolerantteihin lajeihin. Yksilömäärällä ei kuitenkaan ole indeksin laskennassa väliä muilla kuin särkikaloilla tai lohilla ja taimenilla, joille lasketaan tiheydet. Muihin indekseihin vaikuttavat vain lajimäärät ja niiden suhteellinen osuus toisiinsa, ei kokonaissaaliiseen nähden. Esimerkiksi yhden kiisken vaikutus indeksiin on yhtä suuri kuin kymmenen tai sadan kiisken, mikä taas on joen kalastossa todella suuri tiheysero. Kalaindeksin avulla tapahtuva vertailu ei sovellukaan eri paikkojen välille, vaan se on yksi työkalu tietyn koealan mahdollisen muutoksen arvioimiseksi.

4.2. Mädinhaudontakoe

Vantaanjoen kipsihankkeen mädinhaudontakokeessa selviytyvyys oli keskimäärin 36 % ja vaihteluväli 4–58 %. Tulokset vastaavat aikaisempien mädinhaudontakokeiden suurta vaihtelua ja selviytyvyyden riippuvuutta jokien ominaispiirteistä. Syrjänen (2016, taulukko 5) on koonnut ennen vuotta 2016 tehtyjen mädinhaudontakokeiden tuloksia tutkimusalueiden erityispiirteiden mukaan jaoteltuna. Aikaisemmissa tutkimuksissa taimenen selviytyvyys on ollut erinomaisessa vedenlaadussa 83–93 % (Syrjänen ym. 2008; Oraluoma ym. 2015), kun taas heikoimmillaan selviytyvyys on ollut olematonta tai muutamana prosentin luokkaa jokialueilla, joilla on paljon turvetuotantoa tai metsäojituksia (Laine ym. 2001; Sivonen & Oraluoma 2014). Maatalouskuormitteisessa Lapuanjoessa tehdyssä mädinhaudontakokeessa selviytyvyys oli kahden eri alueen keskiarvona 47 % (vaihteluväli 22–70 %) (Sivil 2015). Kokeessa käytettiin Vibert Box -haudontarasioita, joita ei upotettu soran sisään, joten se ei ole täysin verrattavissa Vantaanjoen kipsihankkeen mädinhaudontakokeeseen.

Mädinhaudontakokeissa tulokset ovat useasti vaihdelleet suuresti tutkimusalueen korien välillä. Keski-Suomessa mädinhaudontakokeessa Tourujoella ja Autiojoella selviytyvyys vaihteli eri korien välillä 52–92 ja 20–74 % (Syrjänen 2016). Vaihteluväli vastaa kohtalaisen hyvin Vantaanjoen kipsihankkeen mädinhaudontakokeen eri alueiden selviytyvyyden vaihteluvälejä. Korien väliset erot olivat pääsääntöisesti hieman pienempiä muutamaaan poikkeusta lukuun ottamatta.

Etelä-Suomen jokien mädinhaudontakokeissa Tuusulanjoella selviytyvydeksi saatiin 5–18 % ja Vuohikkaanojalla 18–27 % (Sivonen & Leinonen 2018). Myös SAVE-hankkeen mädinhaudontakokeessa taimenten selviytyminen ja varsinkin kuoriutuminen oli huomattavasti pienempää kuin Vantaanjoen kipsihankkeessa. Savijoen vertailu- ja vaikutusalueilla ei ollut viimeisellä nostokerralla yhtään alkioita elossa, ja kuoriutuneita oli vaikutusalueella keskimäärin vain prosentin verran ja vertailualueella ei ollenkaan (Arola 2019). Savijoen valuma-aluetta edustavassa vertailupaikassa Järvijoella selviytyvyys oli vain hieman parempaa 9 % selviytyvyydellä ja 9 % kuoriutuneiden keskiarvona.

Aikaisempiin kokeisiin verrattuna mädinhaudontakokeen tulokset olivat samankaltaisesti hyvin vaihtelevia. Kokonaisselviytyvyys jäi pieneksi kuten Etelä-Suomen aikaisemmissakin

mädinhaudontakokeissa. Useiden mädinhaudontakokeiden parempi selviytyvyys voi selittyä osittain myös suuremmilla jokien uomilla, jotka vähentävät osaltaan ympäristötekijöiden vaikutusta, joka oli Vantaanjoen kipsihankkeen mädinhaudontakokeessa merkittävä.

Vantaanjoen kipsihankkeen mädinhaudontakokeen vertailualueillaakaan selviytyminen ei ollut lähelläkään ekotoksikologisissa tutkimuksissa vaadittua yli 80 prosentin selviytyvyyttä (Wang ym. 2016), vaan jäi parhaimmillaankin noin 39 prosenttiin Haukankosken vertailualueella. Ottamalla huomioon käsittelyn ja kuljetuksen aiheuttama kuolleisuus, voidaan arvioida kontrolliselviytyvyyden olleen noin puolet kokonaismäärästä. Voidaan siis todeta, että taimenen mädin selviytymiseen vaikuttavat vahvasti Vantaanjoen valuma-alueella muut ympäristötekijät kuin sulfaatin pitoisuus vedessä.

Mädinhaudontakokeessa kiintoainesta kertyi koreihin ja sylintereihin huomattavasti. Taimenen alkio on erityisen herkkä hienon sedimentin vaikutukselle kehittymisen aikana, sillä savipartikkelit vaikuttavat alkion soluhengitykseen ja lisäävät sen tarvitsemää hapen määrää (Jonsson & Jonsson 2011). Kiintoaineen sedimentoituminen tukkii soraikon välejä ja laskee happipitoisuutta virtauksen vähentyessä ja orgaanisen aineksen hajoamisen seurauksena (Louhi & Mäki-Petäys 2003). Kiintoaine myös pakottaa kuoriutuneet poikaset aikaisemmin ulos sorasta, mikä lisää niiden kuolleisuutta (Olsson & Persson 1986; Louhi & Mäki-Petäys 2003).

Runsaan kertyneen kiintoaineen takia tulosten tarkastelussa selviytyvyys määritettiin myös vain kuoriutumiseen asti, sillä mädinhaudontakokeessa käytettävät sylinterit estävät kuoriutuneiden poikasten kaivautumisen sorasta ja liikkumisen suotuisammalle paikalle (Syrjänen ym. 2008). Pelkästään runsas kiintoaines voi estää kuoriutuneiden poikasten nousun soraikoista (Louhi & Mäki-Petäys 2003). Viimeisten nostokertojen havaintojen perusteella sylinterien yläosaan muodostui kokeen aikana liki poikkeuksetta kiintoainesmatto, mikä on erittäin todennäköisesti heikentänyt alkioden selviytymistä. Esimerkiksi Haukankoskella havaittiin kuoriutuneiden poikasten kasaantuneen aivan sylinterin yläosaan, todennäköisesti hapenpuutteen vuoksi.

Veden lämpötila vaikuttaa taimenen mädin selviytymiseen (Syrjänen ym. 2008). Paras kuoriutuvuus saavutetaan, kun veden lämpötila on 1–8 astetta (Humpesch 1985). Korkeat lämpötilat heikentävät mädin selviytymistä, ja yli 16 asteen lämpö tappaa jo taimenen mädin

(Ojanguren & Braña 2003). Nouseva lämpötila lisää mätimunien aineenvaihduntaa, mikä taas lisää niiden hapentarvetta. Samalla lämmennyt vesi vähentää liuenneen hapen määrää, mikä voi aiheuttaa alkioden hapenpuutetta varsinkin suurempien kiintoainemäärien kanssa (Louhi & Mäki-Petäys 2003).

Lämpötilamittausten mukaan mädit eivät päässeet jäätymään eikä veden lämpötila noussut yli yhdentoista asteen missään vaiheessa kokeen aikana. Juuri yli yhdentoista asteen lämpötilat vaikuttavat taimenen alkionkehitykseen heikentävästi (Lahnsteiner 2012), joten ei ole syytä olettaa korkean lämpötilan vaikuttaneen kokeessa selviytyvyyteen. Jokirannankosken lämpötiladataa ei saatu tutkittua, mutta tulosten perusteella voidaan kuitenkin olettaa, ettei kori ollut päässyt jäätymään kokeen aikana eivätkä lämpötilat olleet merkittävästi suurempia kuin ylä- tai alapuolisilla tutkimusalueilla.

Kahden vuorokauden jälkeen hedelmöityksestä mädin käsittelynkestävyys heikkenee huomattavasti (Krise 2011; Jonsson & Jonsson 2011), kunnes mädit kehittyvät silmäpisteasteelle. Tämän jälkeenkin esimerkiksi muuttuvien virtausolosuhteiden aikaansaama mekaaninen stressi voi johtaa aikaisempaan kuoriutumiseen, mikä näkyy kuoriutuneiden kalojen pienempinä kokoina (Næsje & Jonsson 1988). Lisäksi eri aineiden pitoisuudet jokivedessä vaikuttavat selviytymiseen. Kaloille tehdyissä kokeissa on todettu, että esimerkiksi korkeassa sulfaattipitoisuudessa kuoriutuminen tapahtuu aikaisemmin ja selviytyminen heikkenee (Wang ym. 2016).

Mädinhaudontakokeessa käytetyt mädit saatiin aseteltua tutkimusalueille selvästi alle 48 tunnissa hedelmöityksestä. Vedenlaadussa ei ollut merkittäviä eroja tutkimusalueiden välillä ja sulfaattipitoisuudet jäivät verrattain mataliksi. Virtaamaolosuhteet korien kohdalla saattoivat kuitenkin vaikuttaa kokeen tuloksiin, joskin niiden vaikutusten arviointi on hankalaa virtausmittausten puutteiden takia.

Lepsämänjoella tuloksissa oli suurta vaihtelua. Osa tästä vaihtelusta selittyy alueiden eroista ja ympäristötekijöistä. Myllyoja on hyvin pohjavesivaikutteinen, mikä näkyi korkeampana talviaikaisena vedenlämpönä ja sitä kautta suurempana mikrobiotoimintana. Lämpötila vaikuttaa erityisesti mädin kehittymisnopeuteen ja kuoriutumisajankohtaan ja korkeammassa lämpötilassa mäti kehittyy pääsääntöisesti nopeammin. Kylmistä joista peräisin olevien emokalojen alkiot kehittyvät kuitenkin nopeammin samoilla lämpöasteilla

ja vaativat vähemmän lämpöasteita kuoriutumiseen (Brannon 1987). Myllyojan korkeampi veden lämpö nopeutti niin mädin kehitystä kuin myös kuolleiden mätijyvien hajoamistakin. Myllyojan sylintereissä havaittiin muista poiketen runsaasti lieroja ja muita eliöitä nostojen aikana.

Lämpösumma oli Myllyojalla kokeen aikana jopa 120 astetta suurempi kuin samalla joella Nummenpääntiellä. Myllyojan taimenet kuoriutuivatkin lämpimämmässä jo neljännelle nostokerralle toisin kuin muilla alueilla. Samalla vaikutti siltä, että neljännen ja viidennen nostokerran välissä selviytyminen sylintereissä oli heikentynyt huomattavasti nousseen lämpötilan ja kiintoainekuormituksen myötä, eikä kuolleita kuoriutuneita taimenia pystytty havaitsemaan enää viimeisellä nostokerralla niin tehokkaasti kuin muilla alueilla. Tämä heikensi Myllyojan kuoriutumiseen asti selviytyvyyden tuloksia, ja olisikin ollut perusteltua lopettaa koe tämän tutkimusalueen osalta jo neljänteen nostokertaan, jolloin tuloksena olisi ollut yli 50 prosentin selviytyvyys. Tämä tulos olisi lähempänä muiden tutkimusalueiden tuloksia.

Isoniityntien alapuolisen tutkimusalueen selviytyvyys oli kokeen heikoin. Alueen selviytyvyys romahti neljännen ja viidennen nostokerran välissä 71 prosentista 4 prosenttiin. Neljännellä nostokerralla yhdessä sylinterissä oli jopa enemmän eläviä kuoriutuneita poikasia kuin viimeisellä kerralla neljässä sylinterissä yhteensä. Mädin selviytymiseen on todennäköisesti vaikuttanut korien kohdalle talvella kertynyt jääkerros ja muuttuneet virtausolosuhteet sekä runsas kiintoainekertymä. Kertyneestä jäädästä huolimatta lämpötila-anturin lukemien perusteella mäti ei päässyt jäätymään.

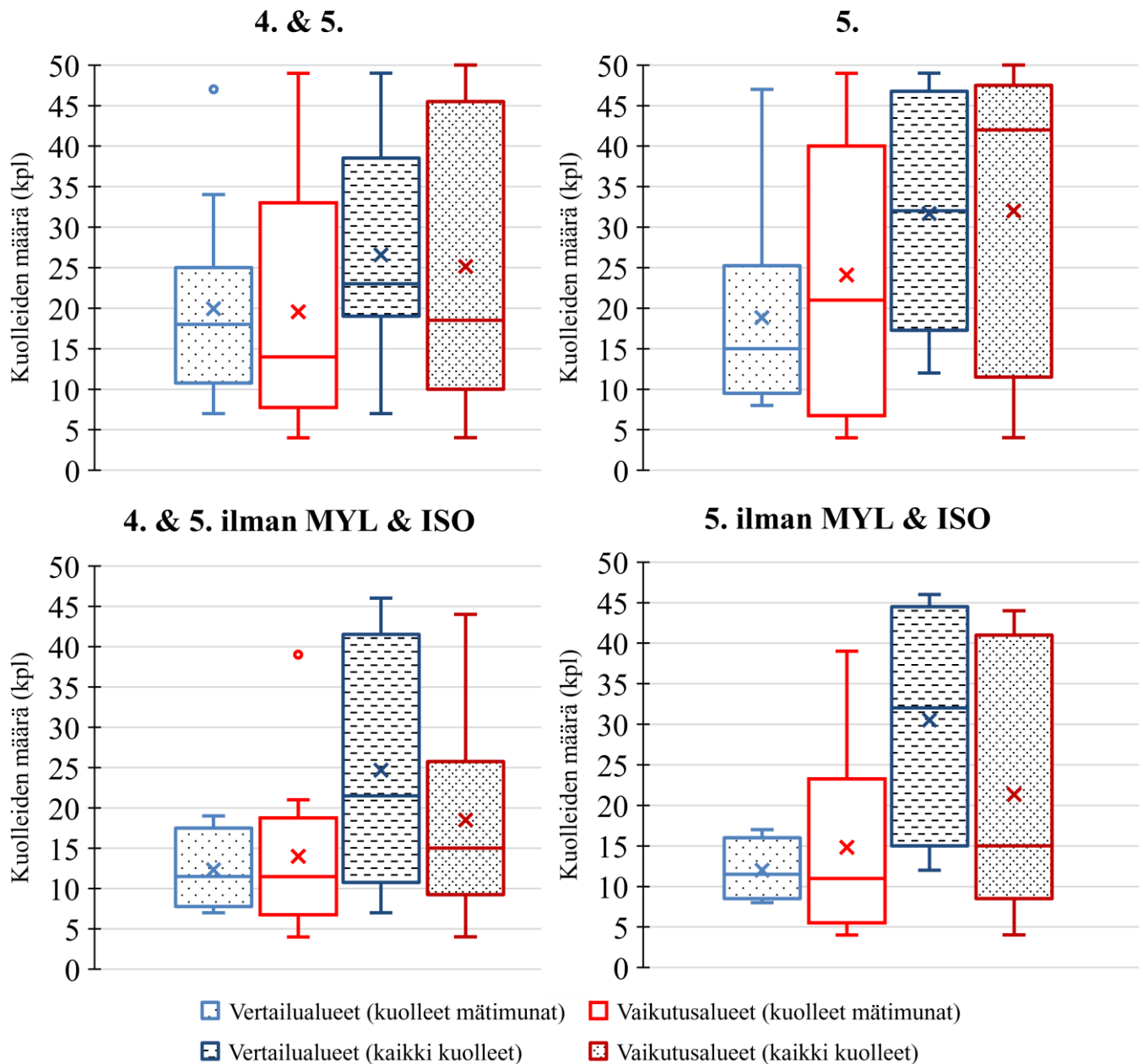
Osasyysksi Isoniityntien mädinhaudontapaikan tuloksiin epäiltiin myös mahdollisia suuria sulfaattihiikkejä. Kyseinen alue sijaitsee lähellä kipsikäsitellyn pellon salaojien kokoomaputkea, josta tulevasta vedestä mitattiin keväällä 2019 alivirtaaman aikaan suuri sulfaattipitoisuus (73 mg l^{-1}) suhteessa jokiveteen. Putken valunta arvioitiin kuitenkin pieneksi joen virtaamaan nähden ja lokakuun näytteenotossa putkesta tulevan valunnan sulfaattipitoisuus oli selvästi pienempi kuin jokiveden. Epäilyn vuoksi Isoniitun koeala sähkökoekalastettiin, ja tulosten perusteella todettiin taimenen lisääntymisen onnistuneen hyvin mädinhaudontakorien paikalla.

Kahden viimeisen nostokerran välissä oli kymmenen päivää ilman erityisiä virtaamamuutoksia, mutta samalla veden lämpötila nousi selvästi, mikä todennäköisesti tappoi runsaasti sylintereissä olleita alkioita. Kun viimeisen nostokerran sijasta tarkastellaankin myös edeltävää nostoa, jolloin kuoriutuminen oli jo käynnissä, voidaan arvioida selviytyvyyttä mahdollisesti vähemmillä ympäristötekijöiden vaikutuksilla, minkä lisäksi suuremmalla otoskoolla vähennetään yksittäisten sylinterien vaikutuksia. Lisäksi Myllyojan ja Isoniityntien tutkimusalueiden tulosten hylkääminen poikkeuksellisten ympäristöolojen takia muuttaa suuresti vertailu- ja vaikutusalueiden vertailua (kuva 27).

Kahden viimeisen nostokerran tulosten hajonta on suurta niin vertailu- kuin vaikutusalueillakin, mutta vaikutusalueilla on keskimäärin pienempi kuolleisuus kuin vertailualueilla, toisin kuin vain viimeisen nostokerran tuloksilla (kuva 27). Ilman Isoniityntien tutkimusalueen tuloksia kuolleisuus oli vertailualueilla selvästi suurempaa viimeisillä nostokerroilla riippumatta siitä, huomioitiinko vertailualueista myös Myllyojan tulokset mukaan vai ei. Myllyojan tulosten poisjättö parantaa erityisesti kuoriutumiseen asti selviytymistä vertailualueilla, mutta ei juurikaan kokonaisselviytyvyyttä. Tämä voi selittyä sillä, että sylinterien kuolleet kuoriutuneet poikaset ehtivät hajota runsaan mikrobitoiminnan seurauksena tunnistamattomiksi.

Kuoriutumiseen asti selviytyminen on viimeisellä nostokerralla jopa 25 prosenttiyksikköä parempaa vertailualueilla kuin vaikutusalueilla, kun tarkastellaan vain Haukankoskea vertailualana kaikille vaikutusalueille. Silloinkin kokonaisselviytyminen on kuitenkin lähes samansuuruista (kuva 27). Pienet otoskoot heikentävät kuitenkin vertailua ja Haukankoski on ympäristöoloiltaan hyvin erilainen kuin Lepsämänjoen pienet virta-alueet.

Tutkimusalueiden välisten tilastollisten erojen puuttuminen selittyy suurelta osin pienestä otoskoosta. Korien huuhtoutumisen vuoksi otoskoot jäivät pieniksi, mikä heikentää tilastollisten analyysien voimakkuutta. Yhteensä veteen viedyistä mätimunista 600 mätimunien selviytyminen jäi selvittämättä eli yli 15 prosenttia aineistosta jäi saamatta, ja viimeisen nostokerran aineisto olisi ollut ilman menetyksiä jopa 50 prosenttia suurempi. Viimeisillä kahdella nostokerralla koreista nostettiin alle 72 prosenttia potentiaalisista sylintereistä eli yhteensä 28 sylinteriä, kun suunnitelmien mukaan niitä olisi voitu nostaa 39.



Kuva 27. Mädinhaudontakokeen mätimunien ja poikasten kuolleisuus per sylinteri vertailu- ja vaikutusalueilla kahdella viimeisellä ja viimeisellä nostokerralla sekä näillä nostokerroilla ilman Myllyojan ja Isoniityntien tutkimusalueita. Laatikko kuvaa mediaania, arvoja 25. ja 75. persenttiilien välillä sekä tulosten hajontaa. Keskiarvo on kuvattu ristillä ja yksittäiset ääriarvot ympyröillä.

Laskennalliset tarvittavat otoskoot tilastollisiin eroihin ovat suuria, koska sylinterien arvot vaihtelivat runsaasti eli varianssi oli suuri. Jos oletetaan, että mädinhaudontakokeen tulokset noudattaisivat normaalijakaumaa, niin tilastolliseen eroon Haukankosken vertailualueen ja Isoniityntien vaikutusalueen välille olisi näillä hajontaluvuilla tarvittu arviolta jopa

seitsemän mätikoria enemmän, kun otetaan huomioon vain viimeisen kerran nostot (R, pwr.t.test, sig = 0,05, power = 0,75).

Suurempiin otoskokoihin päästäisiin samoilla sylinterimäärillä, jos koeasetelmaa muutettaisiin siten, että tutkimusalueita olisi vähemmän, esimerkiksi vain yksi vertailualue ja yksi tai kaksi vaikutusaluetta. Lisäksi nostokertojen määrää voisi vähentää esimerkiksi kolmeen, jolloin saadaan vielä selville kuljetuksen ja käsittelyn aiheuttama kuolleisuus ja pystytään vielä arvioimaan tulvien vaikutusta selviytymiseen ja kuoriutumisajankohtaa. Suurin osa sylintereistä voitaisiin tällöin jättää nostettavaksi viimeiselle kerralle, mikä kuvaisi parhaiten mätien selviytymistä.

Mädinhaudontakokeen toteutuksessa oli muutamia ongelmia. Esimerkiksi soralla täytettyjen korien sijoittelussa pyrittiin mukailemaan taimenen luontaista kutupesää, mutta koreja ei pystytty kaivamaan pohjaan muun soran tasoon. Lisäksi osalla alueista ei esiintynyt taimenen lisääntymiseen soveltuvaa soraa ollenkaan, jolloin korien kaivaminen pohjan tasoon ei olisi ollut mahdollista tai järkevää hyvin erilaisen pohjakoostumuksen (esimerkiksi savipohjan) takia. Tämä olisi voinut vaikuttaa hapekkaan veden kulkeutumiseen. Nyt sorapohjaisillakin alueilla korin läpi virtasi kyllä hapekasta vettä, mutta samalla siihen jäi kiinni lehtiä ja muuta kiintoainesta, joka ei olisi jäänyt pohjasoraikkoon.

Pieniä eroja on voinut tulla sylintereihin laitetun mädin laskennassa, jossa ensimmäisen kerran nostojen perusteella tuli muutama laskuvirhe sylinteriin laitettujen mätimunien määrässä. On kuitenkin hyvin epätodennäköistä, että virhe olisi kahta prosenttia suurempi. Paljon suurempi epävarmuustekijä tuli korien huuhtoutumisesta virran mukana, mikä vei kolme neljäsosaa Luhtajoen vaikutusalueiden mädinhaudontakoreista. Lisäksi Nummenpääntien alapuolisen tutkimusalueen alimmasta korista oli käyty kokeen aikana nostamassa kaksi sylinteriä pois kolmannen ja neljännen nostokerran välissä. Toinen näistä sylintereistä löytyi viimeisellä nostokerralla noin viiden metrin päästä korista, mutta se jätettiin huomioimatta tuloksissa. Kaksi viimeisen kerran sylinteriä lisänä olisi hyvin voinut vaikuttaa kyseisen paikan tulokseen.

Kolmen huuhtoutuneen korin tapauksessa osasyynä oli toisen nostokerran jälkeinen kivien siirto varsinkin Jokirannankoskella, jossa virtausnopeus oli laskenut merkittävästi korien kohdalla. Virtauksen parantamiseksi muutaman kiven paikkaa vaihdettiin, jolloin

eteläpuoleisesta uomasta virtasi enemmän vettä. Samalla koreja paikoillaan pitäneet kivet vähenivät, mikä osaltaan mahdollisti yhden korin huuhtoutumisen. Kuhakoskella huuhtoutumisen syyt ovat mahdollisesti liittyneet yksinkertaisesti suuresti kasvaneeseen virtaukseen korien kohdalla sekä liian pieniin koreja paikoillaan pitäneisiin kiviin. Myös jäälauttojen liikkeellelähtö on voinut olla osatekijänä. Korien paikallaan pysyminen tulisikin varmistaa ja ottaa huomioon paremmin mahdollisissa tulevilla mädinhaudontakokeissa.

4.3. Vedenlaatu ja muut tekijät

Vedenlaadun mittausten perusteella ei havaittu peltojen kipsikäsittelyjen vaikutuksia kalastoon. Sulfaattipitoisuus arvioitiin sähkönjohtavuuden avulla sovitetulla lineaarisella funktiolla, joka ei kuitenkaan ota huomioon sähkönjohtavuuden kipsistä riippumattomista syistä johtuvia vuodenaikaisia muutoksia, kuten talvella tapahtuvia maanteiden suolauksista tai hulevesistä johtuvaa johtokyvyn lisäystä. Tästä huolimatta funktio antaa melko tarkan arvion sulfaattipitoisuudesta. Sen perusteella suurin laskennallisesti sähkönjohtavuudesta arvioitu sulfaattiikki kalastotutkimusten aikaan oli alle 120 mg l^{-1} . Tällainen pitoisuus ei tutkimusten mukaan vaikuta ollenkaan kaloihin edes pitkäkestoisena. Esimerkiksi Savijoella tehdyissä SAVE-hankkeen tutkimuksissa arvioitiin lähemmäs kolminkertaisia pitoisuuksia (Arola 2019). Pitkäkestoisia suuria sulfaattipitoisuuksia ei hankkeen aikana havaittu.

Hankkeen aikaiset sulfaattimääritykset jäivät vähäisiksi. Veden sulfaattipitoisuuksia mitattiin vain harvoin ja lähes yksinomaan muiden tutkimusten ohessa valunnan ollessa pientä. Näillä näyttemäärillä varsinkin Luhtajoessa jäivät näkemättä mahdolliset suuret sulfaattiikit sekä kevät- ja syystulvan aiheuttamat pitoisuuskasvut, joita ei pystytty arvioimaan sähkönjohtavuuden perusteella. Syksyn 2019 näytteillä saatiin kuitenkin arvio siitä, mitä pitoisuudet ovat voineet olla edellisenä syksynä pienemmällä kipsikäsiteltyjen peltojen osuudella. Eri vuosien erilaiset kipsinlevitysmäärät vaikeuttavat sulfaattipitoisuuksien arviointia.

Lepsämänjoen ja erityisesti Nummenpääntien suuret sulfaattipitoisuudet syksyllä 2019 ovat todennäköisesti olleet vieläkin suurempia edellisenä syksynä, sillä valuma-alueilla ei kipsikäsitelty yhtään peltolohkoa jälkimmäisenä vuonna. Vastaavasti Luhtajoen

sulfaattipitoisuudet voivat olla jopa suurempia kipsikäsitellyn pinta-alan suuren lisäyksen takia. Erityisesti Haukankosken valuma-alueen kipsikäsiteltyjen peltojen pinta-ala moninkertaistui. Tämä on hyvä ottaa huomioon hankkeen jatkotutkimuksissa. Muuten sulfaattipitoisuuksien erot paikkojen välillä voidaan vain osittain johtaa kipsatun pellon pinta-alaan valuma-alueella. Syksyn 2018 mittaustulosten puuttuminen tekee vertailusta ja arvioinnista hankalaa.

Kipsihankkeen kalastotutkimuksissa oli muutamia tulosten luotettavuutta heikentäviä tekijöitä. Näihin kuului esimerkiksi ympäristötekijät, jotka vaikuttivat erityisesti mädinhaudontakokeessa ja heikensivät huomattavasti paikkojen välistä vertailtavuutta. Ympäristötekijöiden vaikutusta olisi mahdollisesti voitu vähentää paremmalla suunnittelulla ja paikkavalinnalla, mikä olisi vaatinut enemmän resursseja ja ennakkotutkimusta.

Koealueiden valinnat eivät onnistuneet parhaalla mahdollisella tavalla. Lepsämänjoen virta-alueet olivat hyvin kapeita, ja niiden sijoittuminen suhteessa kipsattuihin peltoihin jätti toivomisen varaa varsinkin Nummenpääntien alapuolisella tutkimusalueella, jonka virta-alue sijoittui pääasiassa molemmipuolisten suurten kipsilevitteisten peltojen valunnan yläpuolelle. Lisäksi kaikki kipsattavat peltolohkot eivät olleet vielä tiedossa vuonna 2018, jolloin tutkimusalueet valittiin, minkä takia niiden valuma-alueelle saattoi tulla huomattavasti lisää kipsattavia peltoja. Esimerkiksi vertailualueeksi valittu Haukankoski ei ole enää syksyn 2019 kipsinlevitysten jälkeen vain muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta kipsattujen peltolohkojen yläpuolella, vaan sen valuma-alueella on jo useita kipsattuja peltolohkoja.

Mädinhaudontakoe toteutettiin ensimmäisen vuoden syksyn kipsinlevitysten jälkeen, jolloin kipsiä oli levitetty vasta alle kolmasosa tavoitteesta ja kokonaismäärästä. Tämän takia Luhtajoen koeasetelmaan ja jokiveteen tulevat vaikutukset olivat ensimmäisenä talvena huomattavasti pienemmät kuin ne todellisuudessa hankkeen tiimoilta tulivat olemaan. Lisäksi kipsikäsiteltyjen peltojen osuudet valuma-alueesta jäivät pieniksi verrattuna esimerkiksi SAVE-hankkeeseen, jossa käsiteltyjen lohkojen alat olivat 22–23 prosenttia valuma-alueesta (HY & SYKE 2018b). Vantaanjoen kipsihankkeen kalastotutkimuksissa vaikutusalueilla vastaavat luvut olivat vain 2–10 prosenttia valuma-alueesta.

5. Johtopäätökset

Vantaanjoen kipsihankkeen kalastotutkimusten perusteella voidaan todeta, ettei hankkeen mukainen peltojen kipsikäsittely vaikuttanut nähtävästi alueen kalakantoihin. Mädinhaudontakokeen tuloksien mukaan taimenen lisääntyminen onnistuu myös kipsattujen peltojen vaikutusalueen virtapaikoilla, ja sähkökoekalastusten mukaan luontaista lisääntymistä tapahtuikin näillä alueilla myös peltojen kipsikäsittelyn jälkeen.

Mädinhaudontakokeessa ei pystytty toteamaan kipsinlevityksen vaikutuksia taimenen mädin selviytymiseen, sillä kipsinlevitys ei nähtävästi heikentänyt tai parantanut selviytyvyyttä. Koejärjestelyiden haasteiden myötä tulosten merkittävyys jäi heikolle tasolle eikä tilastollisesti merkittävää eroa kuolleisuudessa vertailualueiden ja vaikutusalueiden välillä saatu. Tulosten tarkastelun jälkeen vaikuttaa siltä, että peltojen kipsikäsittelyn tarkempi kalastovaikutusten selvittäminen vaatisi mädinhaudontakokeen uusimisen parannetulla tutkimussuunnitelmalla, jolla suljettaisiin paremmin pois ympäristötekijöiden vaikutukset.

Kalastotutkimuksiin valitut tutkimusmenetelmät eivät täysin sulje pois peltojen kipsikäsittelyn mahdollisia vaikutuksia. Mädinhaudontakokeella tutkittiin kroonisen altistuksen vaikutuksia herkkiin taimenen mätimuniin ja sähkökoekalastuksella suoria vaikutuksia kalalajien määrään, tiheyksiin sekä lisääntymisen onnistumisiin valituilla koealoilla. Kyseisillä menetelmillä ei voida selvästi havaita pieniä muutoksia, jotka ovat voineet johtua jostain muusta kuin vuosien välisistä vaihteluista.

Kaiken kaikkiaan Vantaanjoen kipsihankkeen kalastotutkimuksissa ei havaittu peltojen kipsikäsittelystä aiheutuvia vaikutuksia kalastoon. Näiden ja aikaisempien kalastotutkimustulosten perusteella voidaan pitää hyvin todennäköisenä, ettei kipsinlevityksellä ole merkittäviä vaikutuksia jokien kalastoon tai taimenen lisääntymiseen. Nyt saadut tulokset eivät kuitenkaan sulje pois peltojen kipsikäsittelyn mahdollisia paikallisia, hetkellisiä tai pitkäaikaisia vaikutuksia, varsinkaan silloin, jos kipsikäsiteltävä pelto-osuus on suurempi. Onkin suositeltavaa, että peltojen kipsikäsittelyn vaikutuksia seurataan jatkossakin esimerkiksi sähkökoekalastusten avulla, kuten kalaston tilaa yleensäkin.

6. Kiitokset

Tämä opinnäytetyö toteutettiin osana John Nurmisen Säätiön, Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistyksen, Helsingin yliopiston sekä Suomen ympäristökeskuksen yhteistä Vantaanjoen kipsihanketta. Suuri kiitos Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistykselle mahdollisuudesta osallistua hankkeeseen ja erityisesti Oula Tolvaselle käytännön avusta ja opastuksesta. Erityiskiitos myös Kymijoen vesi ja ympäristö ry:lle joustamisesta syksyllä 2018, mikä mahdollisti kalastotutkimuksiin osallistumisen kipsihankkeen alusta asti. Kiitokset myös kaikille osallisille kommentoinnista, tuesta ja taustatiedoista.

7. Kirjallisuus

Arola, H. 2019. Taimenen mädin säilyvyys ja alkioiden kasvu Savijoen kipsinlevitysalueella. Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja 1/2019.

Arola, H., Karjalainen, A., Syrjänen, J., Hannula, M., Väisänen, A. & Karjalainen, J. 2019. Assessment of fish embryo survival and growth by in situ incubation in acidic boreal streams undergoing biomining effluents. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 76: 51–65.

Aroviita, J., Mitikka S., & Vienonen, S. (toim.) 2019. Pintavesien tilan luokittelu ja arviointiperusteet vesienhoidon kolmannella kaudella. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 37/2019. 177 s.

Bohlin, T., Hamrin, S., Heggberget, T., Rasmussen, G. & Saltveit, S. 1989. Electrofishing – theory and practice with special emphasis on salmonids. *Hydrobiologia* 173(1): 9–43.

Brannon, E. 1987. Mechanisms stabilizing salmonid fry emergence timing. *Canadian special publication of fisheries and aquatic sciences* 96: 120–124.

British Columbia Ministry of Environment. 2013. Ambient Water Quality Guidelines For Sulfate. Technical Appendix. Water Protection & Sustainability Branch. Environmental Sustainability and Strategic Policy Division. Update April 2013.

Degerman, E. & Sers, B. 2001. Elfiske. *Fiskeriverket information* 1999:3: 3–69. Tarkistettu versio 24.8.2001.

Ekholm, M. 1993 Suomen vesistöalueet. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja – Sarja A 126. Helsinki: Vesi ja Ympäristöhallitus.

Ekholm, P., Valkama, P., Jaakkola, E., Kiirikki, M., Lahti, K. & Pietola, L. 2012. Gypsum amendment of soils reduces phosphorus losses in an agricultural catchment. *Agricultural and Food Science* 21(3): 279–291.

Elphick, J., Davies M., Gilron, G., Canaria, E., Lo, B. & Bailey, H. 2011. An aquatic toxicological evaluation of sulfate: the case for considering hardness as a modifying factor in setting water quality guidelines. *Environmental Toxicology and Chemistry* 30: 247–253.

Euroopan yhteisöjen komission asetus (EY) N:o 889/2008, luonnonmukaisesta tuotannosta ja luonnonmukaisesti tuotettujen tuotteiden merkinnöistä annetun neuvoston asetuksen (EY) N:o 834/2007 soveltamista koskevista yksityiskohtaisista säännöistä luonnonmukaisen tuotannon, merkintöjen ja valvonnan osalta. Euroopan unionin virallinen lehti L 250.

Haikonen, A. & Kervinen, J. 2019. Vantaanjoen yhteistarkkailu - Kalasto ja ravut 2018. Kala- ja vesitutkimus Oy. Kala- ja vesijulkaisuja nro 266.

Haikonen, A., Paasivirta, L. & Vatanen, S. 2007. Vantaanjoen yhteistarkkailu – Kalasto ja pohjaeläimet vuonna 2006. Kala- ja vesiraportteja nro 1.

Haikonen, A., Hynninen, M. & Happonen, L. 2019. Vantaanjoen vesistön kalatalous- ja pohjaeläintarkkailuohjelma 2020 alkaen. Kala- ja vesitutkimus Oy. Kala- ja vesijulkaisuja nro 276.

Haikonen, A., Happonen, L. & Hynninen, M. 2020. Vantaanjoen vesistön kalastotarkkailu 2019. Kala- ja vesitutkimus Oy. Kala- ja vesijulkaisuja nro 284.

Helsingin yliopisto & Suomen ympäristökeskus 2018a. Peltojen kipsikäsittely laajasti käyttöön julkisen tuen avulla. SAVE-hankkeen politiikkasuositukset 26.10.2018.

Helsingin yliopisto & Suomen ympäristökeskus 2018b. SAVE – Saaristomeren vedenlaadunparantaminen peltojen kipsikäsittelyllä. Hankkeen loppuraportti 5.12.2018.

Humpesch, U. 1985. Inter- and intra-specific variation in hatching success and embryonic development of five species of salmonids and *Thymallus thymallus*. *Archiv fuer Hydrobiologie* 104(1): 129–144.

Hyvärinen, E., Juslén, A., Kemppainen, E., Uddström, A. & Liukko, U.-M. (toim.) 2019. Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2019. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 704 s.

Iho, A. & Laukkanen, M. 2012. Gypsum amendment as a means to reduce agricultural phosphorus loading: an economic appraisal. *Agricultural and Food Science* 21(3): 307–324.

Ilmatieteen laitos 2020. Vuodenaikojen tilastot.

<https://ilmatieteenlaitos.fi/vuodenaikojen-tilastot>, luettu 3.1.2020.

Jaakkola, E., Tattari, S., Ekholm, P., Pietola, L., Posch, M. & Bärlund, I. 2012. Simulated effects of gypsum amendment on phosphorus losses from agricultural soils. *Agricultural and Food Science* 21(3): 292–306.

John Nurmisen Säätiö, Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry, Helsingin yliopisto & Suomen ympäristökeskus 2019a. Vantaanjoen kipsihanke. Väliraportti 1/2019.

John Nurmisen Säätiö, Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry, Helsingin yliopisto & Suomen ympäristökeskus 2019b. Vantaanjoen kipsihanke. Väliraportti 2/2019.

Jonsson, B. & Jonsson, N. 2011. Ecology of Atlantic Salmon and Brown Trout: Habitat as a Template for Life Histories. *Fish and Fisheries series vol. 33*. Springer Dordrecht Heidelberg London New York. 720 s.

Kauppila, O. 1983. Vantaanjoki: Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistyksen 20-vuotisjuhlajulkaisu. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry. 103 s.

Krise, W. 2001. Sensitivity of Atlantic Salmon Eggs to Mechanical Shock during the First Six Hours after Fertilization. *North American Journal of Aquaculture* 63(1): 34.

Lahnsteiner, F. 2012. Thermotolerance of brown trout, *Salmo trutta*, gametes and embryos to increased water temperatures. *Journal of Applied Ichthyology* 28(5): 745–751.

- Laine, A., Heikkinen, K. & Sutela, T. 2001. Incubation success of brown trout (*Salmo trutta*) eggs in boreal humic rivers affected by peatland drainage. *Fundamental and Applied Limnology* 150: 289–305.
- Lehtinen, E. 2002. Koiransuolenojan ja Matkunojan kalataloudellinen kunnostussuunnitelma, Nurmijärvi – Luhtajoki. Uudenmaan ympäristökeskus. Tnro 0198S0005-61 2002.
- Louhi, P. & Mäki-Petäys, A. 2003. Elämää soraikon ulkopuolella ja sisällä – lohen ja taimenen kutupaikan valinta sekä mädin elinympäristövaatimukset. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalatutkimuksia 191.
- Mattila, T., Manka, V. & Rajala, J. 2019. Kipsi maanparannusaineena – Hyödyt ja haitat maan kasvukunnolle. Helsingin yliopisto Ruralia-instituutti. Raportteja 192.
- Mikkola, J. & Saura, A. 1994. Viemäristä lohijokeksi – Vantaanjoen vaelluskalatutkimuksia vuosilta 1987-1993. RKTL. Kalatutkimuksia 84.
- Mount, D., Gulley, D., Hockett, J., Garrison, T. & Evans, J. 1997. Statistical models to predict the toxicity of major ions to *Ceriodaphnia dubia*, *Daphnia magna*, and *Pimephales promelas* (fathead minnows). *Environmental Toxicology and Chemistry* 16: 2009–2019.
- Männynsalo, J. 2019. Nurmijärven Vesi, Klaukkalan jätevedenpuhdistamon käyttö- ja päästötarkkailun vuosiylänselvitys 2018. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry:n Raportti 7/2019.
- Næsje, T. & Jonsson, B. 1988. Impact stress: A causal agent of reduced whitefish (*Coregonus lavaretus*) egg incubation time. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 45(1): 27–31.
- Ojanguren, A. & Braña, F. 2003. Thermal dependence of embryonic growth and development in brown trout. *Journal of Fish Biology* 62(3): 580–590.

Ollikainen, M., Ekholm, P., Punttila, E., Ala-Harja, V., Riihimäki, J., Puroila, S., Kosenius, A.-K. & Iho, A. 2018. Peltojen kipsikäsittely maatalouden vesiensuojelukeinona. SAVE-hankkeen tietopaketti. Helsingin yliopisto ja Suomen ympäristökeskus.

Olin, M., Lappalainen, A., Sutela, T., Vehanen, T., Ruuhijärvi, J., Saura, A. & Sairanen, S. 2014. Ohjeet standardinmukaisiin koekalastuksiin. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. RKTL:n työraportteja 21/2014.

Olsson, T. & Persson, B. 1986. Effects of gravel size and peat material concentrations on embryo survival and alevin emergence of brown trout, *Salmo trutta* L. *Hydrobiologia* 135(1): 9–14.

Oraluoma, M., Kivinen, J. & Sivonen, K. 2015. Mädinhaudontakoe Viitasaaren Kärnänkoskella & Kyrönpurolla 2014–2015. Kala- ja vesistötutkimus Vesi-Visio. Raportti.

Paasonen-Kivekäs, M., Peltomaa, R., Vakkilainen, P. & Äijö, H. (toim.) 2009. Maan vesi- ja ravinnetalous: Ojitus, kastelu ja ympäristö. 2. täydennetty painos 2016. Helsinki: Salaojajyhdistys ry. 452 s.

Pietola, L. & Kulokoski, U. 2009. Phosphogypsum-based products for farm-scale phosphorus trapping. More Sustainability in Agriculture: New Fertilization & Fertilization management – 18th International Symposium of CIEC (International Scientific Centre for Fertilizers) Proceedings: 109–115.

Pönkä, A., Hiillos, K., Kivikoski, L., Nikkola, K., Vuorilehto, V.-P. & Kalso, S. 2011. Raakaveden vaikutus Helsingissä käytettävän talousveden laatuun. Helsingin kaupungin ympäristökeskus. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 4/2011.

Saura, A., Lempinen, P. & Leinonen, K. 2002. Vantaanjoen ja Nuijajoen koskikunnostusten seuranta. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kala- ja riistaraportteja nro 255.

Saura, A., Könönen, K., Yrjölä, R. & Rinne, J. 2003. Vantaanjoen yhteistarkkailu. Kalasto ja pohjaeläimet vuonna 2002. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kala- ja riistaraportteja nro 289.

Saura, A., Könönen, K., Yrjölä, R. ja Rinne, J. 2005. Vantaanjoen yhteistarkkailu - kalasto vuonna 2004 ja pohjaeläimet vuosina 2002–2004. Kala- ja riistaraportteja nro 368.

Sivil, M. 2015. Kokonaisselvitys Kuortaneenjärven alapuolisen Lapuanjoen ekologisen tilan parantamismahdollisuuksista – hankeselvitysten tulokset ja suositukset vesienhoidolle. Etelä-Pohjanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. 238 s.

Sivonen, O. & Oraluoma M. 2014. Mädinhaudontakoe Petäjäveden Pengerjoella ja Ohrajoella 2013–2014. Kala- ja vesistötutkimus Vesi-Visio. Raportti.

Sivonen, O. & Leinonen, V. 2018. Taimenen mädinhaudontakoe Vuohikkaanojalla ja Tuusulanjoella 2017–2018. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry:n Raportti 18/2018.

Sivonen, O., Leinonen, V. & Haro, E. 2018. Virtavesi-inventoinnit 2018 Keravanjoki, Lepsämänjoki, Lakistonjoki, Härkälänjoki, Hangasjoki ja Luhtajoki. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry:n Raportti 20/2018.

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus pienten yksiköiden talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista 401/2001.

Suikki, P. & Toivonen V. 2008. Käyttö- ja hoitosuunnitelma. Vantaanjoen kalastusalue. <http://www.vantaanjoenkalatalousalue.fi/tiedostot/3.pdf>.

Suomen ympäristökeskus 2019a. Avoimet ympäristötietojärjestelmät. <https://www.syke.fi/avointieto>, luettu 03.11.2019.

Suomen ympäristökeskus 2019b. Kipsipohjaiset tuotteet maatalojen fosforikuormituksen vähentämiseen (Trap). https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus__kehittaminen/Tutkimus_ja_kehittamishankkeet/Hankkeet/Kipsipohjaiset_tuotteet_maatalojen_fosforikuormituksen_vahentamiseen_Trap, luettu 29.12.2019.

Sutela, T., Vehanen, T. & Jounela, P. 2010. Response of fish assemblages to water quality in boreal rivers. *Hydrobiologia* 641(1): 1–10.

- Syrjänen, J. 2016. Taimenen mädin selviytyvyys haudontakokeessa Jyväskylän Tourujoen vesistössä talvella 2015–2016. Konneveden kalatutkimus ry. Työraportteja 2/2016.
- Syrjänen, J., Kiljunen, M., Karjalainen, J., Eloranta, A. & Muotka, T. 2008. Survival and growth of brown trout *Salmo trutta* L. embryos and the timing of hatching and emergence in two boreal lake outlet streams. *Journal of Fish Biology* 72(4): 985–1000.
- Syrjänen, J., Sivonen, K., Sivonen, O. & Valkeajärvi, P. 2013. Taimenen kutupesälaskenta – menetelmät ja esimerkkituloksia. Riista- ja kalatalous. Tutkimuksia ja selvityksiä 9/2013.
- Tolvanen, O. & Hyrsky, M. 2019. VHVSY ry:n sähkökoekalastukset vuonna 2019. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry:n Raportti 19/2019.
- Turunen, J. 2017. Vaikuttaako kipsinlevitys kaloihin? SAVE-hankkeen blogikirjoitus 27.11.2017. <https://blogs.helsinki.fi/save-kipsihanke/2017/11/27/vaikuttaako-kipsinlevitys-kaloihin/>, luettu 14.01.2020.
- Uudenmaan liitto 1997. Vantaanjoen kehittämisohjelma. Uudenmaa liiton julkaisuja B18 – 1997. 108 s.
- Uusitalo, R., Ylivainio, K., Hyväluoma, J., Rasa, K., Kaseva, J., Nylund, P., Pietola, L. & Turtola, E. 2012. The effects of gypsum on the transfer of phosphorus and other nutrients through clay soil monoliths. *Agricultural and Food Science* 21(3): 260–278.
- Vahtera, H. & Männynsalo, J. 2019. Vantaanjoen yhteistarkkailu – vedenlaatu ja piilevät 2018. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry:n Raportti 11/2019.
- Valkama, P. 2019. Lepsämänjoen, Sipoonjoen ja Taasianjoen automaattiseuranta 2017–2018. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry:n Raportti 22/2018.
- Vehanen, T., Sutela, T. & Korhonen, H. 2010. Environmental assessment of boreal rivers using fish data – a contribution to the Water Framework Directive. *Fisheries Management and Ecology* 17: 165–175.

Wang, N., Dorman, R., Ingersoll, C., Hardesty, D., Brumbaugh, W., Hammer, E., Bauer, C. & Mount, D. 2016. Acute and chronic toxicity of sodium sulfate to four freshwater organisms in water-only exposures. *Environmental Toxicology and Chemistry* 35: 115–127.

Yli-Renko, M. & Rasa, M. 2011. TEHO-hankkeen raportteja, osa III: Kipsikokeilu TEHO-hankkeessa. Varsinais-Suomen ELY-keskus ja MTK. TEHO-hankkeen julkaisuja 1/2011.

Ympäristöhallinto 2019a. Kipsin levitys Saaristomeren valuma-alueen pelloille – KIPSI. <https://www.ymparisto.fi/kipsinlevitys>, luettu 29.12.2019.

Ympäristöhallinto 2019b. Koekalastusrekisteri. https://wwwp2.ymparisto.fi/koekalastus_sahko, luettu 17.10.2019 ja 17.01.2020.

Liitteet

Liite 1. Sähkökoekalastuksien koealakohtaiset saaliit (yksilömäärä)

Joki	Sähkökalastusalan nimi	Kunta	Koordinaatit ETRS- TM35FIN		Etäisyys merestä (km)	Pvm.	Koealan pinta- ala (m²)	Hauki	Harjus	Kiiski	Kivi- simppu	Made	Salakka	Särki	Taimen 0+	Taimen >0+	Törö	
			Pohj	Itä														
Koiransuolenoja/Luhtajoki	Haukankoski	Nurmijärvi	6709752	378782	63	10.9.18	240					1			2	6	1	
						10.9.19	208						54	5				
Luhtajoki	Jokirannankoski		6703319	374842	47	10.9.18	52,9									7		
						10.9.19	69	1							7			
	Kuhakoski		6701726	374091	45	12.9.18	140			30				1	2			
						5.8.19	140		1		64		1		18		5	
Myllyoja/Lepsämänjoki	Myllyoja		6707235	371216	61	10.9.18	75,6								7	5		
						10.9.19	72,5							9	2			
Tuhkurinoja/Lepsämänjoki	Isoniityntien alapuoli		6705331	371471	60	10.9.18	139										2	
						10.9.19	140							15				
	Isoniittu		6704985	371501	60	10.9.19	52,2							9				
						10.9.18	180					1		1				
	Nummenpääntien alapuoli		6703562	372764	60	10.9.19	180,7			1		2						

Liite 2. Sähkökoekalastuksien koealakohtaiset saaliit (biomassa [g])

Joki	Sähkökalastusalan nimi	Kunta	Koordinaatit ETRS- TM35FIN		Etäisyys merestä (km)	Pvm.	Koealan pinta- ala (m²)	Hauki	Harjus	Kiiski	Kivi- simppu	Made	Salakka	Särki	Taimen 0+	Taimen >0+	Törö	
			Pohj	Itä														
Koiransuolenoja/Luhtajoki	Haukankoski	Nurmijärvi	6709752	378782	63	10.9.18	240					111,2			11,3	272,4	17,3	
						10.9.19	208							332,5	233,4			
Luhtajoki	Jokirannankoski		6703319	374842	47	10.9.18	52,9									77,2		
						10.9.19	69	411,9								90,9		
	Kuhakoski		6701726	374091	45	12.9.18	140			83,0			176,0	39,0				
						5.8.19	140		13,0		41,0		0,5		107,4		24,0	
Myllyoja/Lepsämänjoki	Myllyoja		6707235	371216	61	10.9.18	75,6									22,4	86,4	
						10.9.19	72,5								29,5	82,8		
Tuhkurinoja/Lepsämänjoki	Isoniityntien alapuoli		6705331	371471	60	10.9.18	139									85,1		
						10.9.19	140								127,9			
	Isoniittu		6704985	371501	60	10.9.19	52,2							74,8				
						10.9.18	180					36,1		7,6				
	Nummenpääntien alapuoli		6703562	372764	60	10.9.18	180					36,1		7,6				
						10.9.19	180,7			14,7		122,6						

Liite 3. Jokien kalaindeksin vertailuarvot ja luokkarajat.

Tyyppi	Vertailuarvo (VA)	Erinomainen / Hyvä (E/Hy)	Hyvä / Tyydyttävä (Hy/T)	Tyydyttävä / Välttävä (T/V)	Välttävä / Huono (V/Hu)
Keskisuuret savimaiden joet	0,76	0,75	0,56	0,37	0,18
Pienet savimaiden joet	0,72	0,66	0,49	0,33	0,17

Muokattu kuva julkaisusta Suomen Ympäristökeskuksen raportteja 37/2019, Liite 7.3. Kalat (Aroviita ym. 2019).

Liite 4. Luhtajoen vedenlaadunseurannan tuloksia

L37, L55, L57 yhdistetty ka.	2014	2015	2016	2017	2018	2014–2018	2019	yksikkö
Fosfaatti fosforina	21,9	19,6	17,5	46,2	16,4	24,3	19,7	µg/l
Hapen kyllästysaste	88,7	92,4	88,1	86,4	85,7	88,3	87,0	kyll.%
Happi, liukoinen	10,4	10,9	10,5	10,6	10,2	10,5	10,3	mg/l
Kemiallinen hapenkulutus	8,0	10,0	10,0	14,0	7,8	9,9	10,0	mg/l
Kokonaisfosfori, suodattamaton	60,8	75,4	66,4	133,3	72,2	81,6	89,1	µg/l
Sameus	21,0	30,4	27,3	47,8	30,8	31,5	39,1	FNU
Sähkönjohtavuus	20,6	20,5	19,0	20,3	20,5	20,2	22,1	mS/m

Tiedot koottu Suomen ympäristökeskuksen avoimesta ympäristötietojärjestelmästä (SYKE 2019a).

Liite 5. Mädinhaudontakokeen tulokset

Mätikori	Nostokerta	Lämpötila (°C)	Syvyys (cm)	Virtausnopeus (m s ⁻¹)	Mäti: elossa	Mäti: kuolleita	Kuoriutuneet: elossa	Kuoriutuneet: kuolleita
Haukankoski1	1	6,1	36	0,30	44	6		
Haukankoski2	1	6,1	29	0,30	40	10		
Haukankoski1	2	-0,3	31		44	6		
Haukankoski2	2	-0,3	40		44	6		
Haukankoski1	3	-0,3	41		43	7		
Haukankoski2	3	-0,3	31		40	10		
Haukankoski1	4	0,9	49	0,36	43	7		
Haukankoski2	4	0,9	44	0,49	31	19		
Haukankoski1	5	6,3	42	0,29		17	26	7
Haukankoski1	5	6,3	42	0,29		10	38	2
Haukankoski2	5	6,3	33	0,45		13	4	33
Haukankoski2	5	6,3	33	0,45		8	10	32
Jokirannankoski1	1	5,9	20	0,23	45	5		
Jokirannankoski2	1	5,9	25	0,22	44	6		
Jokirannankoski1	2	-0,2	18		37	13		
Jokirannankoski2	2	-0,2	24		46	4		
Jokirannankoski1	3	-0,3	23		40	10		
Jokirannankoski2	3	-0,3	36		31	19		
Jokirannankoski2	4	2,2	37	0,96	28	21	1	
Jokirannankoski2	5	8,3	32	0,34		39	10	1
Jokirannankoski2	5	8,3	32	0,34		4	46	
Kuhakoski1	1	6,0	44	0,25	22	28		
Kuhakoski2	1	6,0	36	0,22	41	9		
Kuhakoski1	2	-0,3	38		46	4		
Kuhakoski2	2	-0,3	40		48	2		
Kuhakoski1	3	-0,3	55		37	13		
Myllyoja1	1	6,0	13	0,35	45	4		
Myllyoja2	1	6,0	13	0,20	44	6		
Myllyoja1	2	0,9	86		40	10		
Myllyoja2	2	0,9	6		33	17		
Myllyoja1	3	0,8	9		26	24		
Myllyoja2	3	0,8	8		39	11		
Myllyoja1	4	3,3	11	0,56		34	16	
Myllyoja1	4	3,3	11	0,56		18	30	2
Myllyoja2	4	3,3	7	0,20		22	28	
Myllyoja2	4	3,3	7	0,20	2	26	21	1
Myllyoja1	5	7,2	13	0,43		47	1	2
Myllyoja2	5	7,2	6	0,45		18	31	1
Isoniityntie1	1	6,0	18	0,26	46	3		
Isoniityntie2	1	6,0	13	0,24	47	3		
Isoniityntie1	2	-0,4	61		34	16		
Isoniityntie2	2	-0,4	77		45	5		
Isoniityntie1	3	-0,4	24		32	18		
Isoniityntie2	3	-0,4	24		44	6		
Isoniityntie1	4	3,2	19	0,51	40	10		
Isoniityntie2	4	3,2	14	0,55	25	11	10	4
Isoniityntie1	5	7,4	17	0,34		49	1	
Isoniityntie1	5	7,4	17	0,34		36	4	10
Isoniityntie2	5	7,4	13	0,42		24	3	23
Isoniityntie2	5	7,4	13	0,42		43		7
Nummenpääntie1	1	6,0	10	0,28	49	2		
Nummenpääntie2	1	6,0	21	0,50	49	1		
Nummenpääntie3	1	6,0	18	0,32	36	12		
Nummenpääntie1	2	-0,2	8		45	5		
Nummenpääntie2	2	-0,2	17		45	5		
Nummenpääntie3	2	-0,2	10		44	6		
Nummenpääntie1	3	-0,2	13		24	26		
Nummenpääntie2	3	-0,2	25		45	5		
Nummenpääntie3	3	-0,2	21		40	10		
Nummenpääntie1	4	4,5	14	0,18	31	13		6
Nummenpääntie2	4	4,5	27	0,60	42	7	1	
Nummenpääntie3	4	4,5	25	0,40	40	10		
Nummenpääntie2	5	8,5	26	0,65		6	40	4
Nummenpääntie2	5	8,5	26	0,65		18	32	
Nummenpääntie3	5	8,5	21	0,34		15	6	29
Nummenpääntie3	5	8,5	21	0,34		7	38	5